

ESTUDO DA ADEQUABILIDADE E BENEFÍCIOS DA *LEAN CONSTRUCTION* ÀS OBRAS RODOVIÁRIAS

João Nuno Gaio Ramos

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade
Nova de Lisboa para obtenção do grau Mestre em Engenharia Civil - Perfil de
Construção

Orientador Científico:

Professor Doutor Nuno Manuel Pereira Migueis Cachadinha

Júri:

Presidente: Professor Doutor Rui Alexandre Lopes Baltazar Micaelo

Vogais: Professor Engenheiro Luís Manuel Trindade Quaresma

Professor Doutor Nuno Manuel Pereira Migueis Cachadinha

Maio de 2011

Estudo da adequabilidade e benefícios da *Lean Construction* às obras rodoviárias

“Copyright” João Nuno Gaio Ramos, da FCT/UNL e da UNL,

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Doutor Nuno Cachadinha pela orientação desta dissertação, acompanhamento permanente, pelos conhecimentos, conselhos transmitidos e por toda a disponibilidade demonstrada.

De forma especial agradeço ao Engenheiro João Pereira e Engenheiro Paulo Alho por toda a disponibilidade e ajuda que me deram, na Empresa onde trabalham e permitiram o trabalho de campo.

A todas as restantes pessoas e entidades que contribuíram para a realização desta dissertação, nomeadamente:

- Ao Engenheiro Medeiros, ao encarregado Daniel e a todos os elementos da equipa de trabalho da empresa, que me ajudaram e forneceram elementos, opiniões e informações.

- Aos restantes membros da Empresa que me disponibilizaram todas as condições.

- Aos Engenheiros e restantes membros das empresas que contribuíram para a correcta realização.

- Ao André e restantes colegas de faculdade que me ajudaram com os seus conhecimentos, amizade e entre ajuda ao longo de todo o percurso académico.

Por último, mas de uma forma muito reconhecida, aos meus Pais e aos meus Avós pela compreensão, carinho e modo como me incentivaram em todos os momentos da minha vida e claro à Sofia por ser a minha inspiração e o meu apoio. Também a todos os meus amigos e restantes Familiares por toda a ajuda e bons momentos que me proporcionam.

RESUMO

A *Lean Production* foi criada em 1950 pelos engenheiros da Toyota, sendo esta filosofia aplicada na fábrica da marca. Os objectivos da *Lean Production* são a eliminação de desperdício ao longo da produção, melhorando a produtividade, alcançando um produto de valor acrescentado. Na sequência dos bons resultados da aplicação de *Lean* na manufactura, começou a desenvolver-se a *Lean construction* que consiste na aplicação dos princípios *Lean* à construção civil.

A *Lean Construction* encontra-se em crescimento em todo o mundo, sendo que em Portugal esta filosofia ainda não é utilizada com regularidade. Existe cada vez mais empresas em Portugal a querer adoptar esta filosofia, pelo que o seu potencial de desenvolvimento no nosso mercado é grande.

Na presente dissertação aplicam-se os princípios da *Lean construction* a obras rodoviárias, com o objectivo de eliminar os desperdícios e aumentar a produtividade.

Em primeiro lugar, foi identificado e analisado o modo de realização de cada actividade e os desperdícios existentes em várias empresas de obras rodoviárias. De seguida foram identificadas as ferramentas *Lean* que se aplicam a cada tipo de desperdícios. Por último, numa das empresas de obras rodoviárias foram aplicadas as filosofias *Lean*, e elaborada uma análise comparativa dos resultados obtidos, antes e depois, da aplicação dos princípios *Lean*.

Foi utilizado o Mapeamento de Fluxo de Valor, sendo esta uma ferramenta que ajuda a identificar todos os tipos de resíduos que não acrescentam valor e tomar medidas baseadas na filosofia *Lean* para eliminá-los.

Os resultados obtidos neste trabalho foram:

- a identificação dos principais problemas e desperdícios existentes nas obras rodoviárias;
- o modo como a *Lean construction* consegue corrigir os desperdícios existentes, originando aumento da produtividade e consequente aumento dos lucros financeiros.

Com a realização deste trabalho ficou demonstrada a aplicabilidade da filosofia *Lean* a este tipo de obras e os benefícios que se consegue obter.

Palavras-chave: *Lean construction*, obras rodoviárias, eliminação de desperdícios, mapeamento de fluxo de valor.

ABSTRACT

Lean production was established in 1950 by engineers from Toyota, where this philosophy was applied in the factories of the brand. The objectives of Lean production are the elimination of waste throughout the production, improving productivity, achieving a value-added product. Following the successful application of Lean in manufacturing, the Lean Construction was developed, based on the application of lean principles to the construction industry.

Lean construction is growing worldwide, but in Portugal this philosophy is not used regularly. The number of Portuguese companies showing interest in adopting this philosophy is growing, thus establishing a significant growth potential in Portugal.

In this thesis the principles of Lean Construction are applied to road works, in order to eliminate waste and increase productivity.

First, several companies of road works were identified and analysed from the perspective of their potential for carrying out each activity and the existing waste. Then the Lean tools that apply to each type of waste were identified. Finally, a company of road works was chosen and the Lean based improvement strategies were, and a comparative analysis of results obtained before and after the application of lean principles was prepared.

The Value Stream Mapping technique was used. Which is a tool that helps identifying all types of waste and take action based on the Lean philosophy to try to eliminate them.

The results of this study were:

- identification of the main problems existing in the waste and road works;
- how the Lean Construction can correct the existing waste, resulting in increased productivity and a consequent increase financial profits.

This work demonstrated the applicability of the Lean philosophy to this type of works and identified the benefits that can be obtained.

Key words: Lean Construction, road works, waste disposal, value stream mapping

LISTA DE ABREVIATURAS

ABGE – Agregado Britado de Granulometria Extensa

JIT - *Just-In-Time*

LC - *Lean Constroction*

LP - *Lean Production*

LPS - *Lean production System*

MFV - Mapeamento de Fluxo de Valor

PPC - Percentagem Plano Completo

TFV - Transformação Fluxo e Valor

Ton – Toneladas

TPM - *Total productive maintenance*

TPS - *Toyota Production System*

h - Horas

Min - Minutos

Índice

1	Introdução	1
1.1	Hipótese de estudo.....	1
1.2	Justificação	1
1.3	Objectivos	2
1.4	Estrutura da dissertação	2
2	Estado do conhecimento	5
2.1	Análise histórica	5
2.2	<i>Lean Production</i>	6
2.3	Natureza singular da construção.....	8
2.4	<i>Lean Construction</i>	8
2.4.1	Princípios da <i>Lean Construction</i>	8
2.4.2	Dificuldades de implementação de <i>Lean</i>	11
2.4.3	Definição de valor na indústria da construção	13
2.4.4	Transformação, Fluxo e Valor	13
2.4.5	Implementação do <i>Lean construction</i>	14
2.4.5.1	Mapeamento de Fluxo de Valor	14
2.4.5.2	<i>Just-In-Time</i>	15
2.4.5.3	<i>Kanban</i>	16
2.4.5.4	<i>Kaizen</i>	16
2.4.5.5	5 S	16
2.4.5.6	<i>Total productive maintenance (TPM)</i>	17
2.4.5.7	Produção celular.....	17
2.4.6	Potencialidades de desenvolvimento no futuro.....	17
2.4.7	Comparação entre gestão convencional e <i>Lean Construction</i>	18
2.5	Obras rodoviárias	18
2.5.1	Considerações gerais.....	18
2.5.2	Metodologia de construção	19
2.5.2.1	Terraplanagem	19
2.5.2.1.1	Limpeza, desmatação e decapagem	19
2.5.2.1.2	Saneamento do terreno.....	19
2.5.2.1.3	Protecção da vegetação existente	20
2.5.2.1.4	Escavação	20
2.5.2.1.5	Aterros	20
2.5.2.1.6	Execução do leito de pavimento	20
2.5.2.2	Drenagem	21
2.5.2.2.1	Escavação para passagem de águas superficiais	21
2.5.2.2.2	Passagens hidráulicas.....	21
2.5.2.2.3	Órgãos de drenagem longitudinal – Valetas e valas.....	21
2.5.2.2.4	Órgãos complementares de drenagem.....	21
2.5.2.3	Pavimentação - Camadas não ligadas.....	22

2.5.2.3.1	Camadas em solos	22
2.5.2.3.2	Camadas em materiais granulares britados	22
2.5.2.4	Pavimentação - Camadas de misturas betuminosas a quente	23
2.5.2.4.1	Central de produção de misturas betuminosas	23
2.5.2.4.2	Processo de transporte, espalhamento e compactação	24
2.5.2.5	Pavimentação - Camadas de misturas betuminosas a frio	25
2.5.2.5.1	Agregados britados tratado com emulsão betuminosa	25
2.5.2.5.2	Misturas betuminosas abertas a frio	26
2.5.2.6	Tratamentos superficiais	26
2.5.2.6.1	Microaglomerados betuminosos a frio	27
2.5.2.6.2	Revestimento superficial betuminoso	27
2.5.2.7	Camada de mistura tratada com ligantes hidráulicos	28
2.5.2.7.1	Camadas de solos tratados	28
2.5.2.7.2	Camadas de agregados britados tratados com ligantes hidráulicos	28
2.5.2.8	Camadas de betão hidráulico	29
2.5.2.9	Trabalhos específicos dos pavimentos rígidos	29
2.5.2.9.1	Acabamentos de superfície	29
2.5.2.9.2	Execução de juntas	30
2.5.2.9.3	Selagem das juntas	30
2.5.2.9.4	Betão poroso na interface entre a laje e a berma	30
2.5.2.10	Regas betuminosas de impregnação, colagem ou cura	30
2.5.2.10.1	Rega de impregnação betuminosa	30
2.5.2.10.2	Rega de colagem	30
2.5.2.10.3	Rega de cura	31
2.5.2.11	Trabalhos especiais de pavimentação	31
2.5.2.11.1	Fresagem	31
2.5.2.11.2	Escarificação e recompactação de pavimentos existentes	31
2.5.2.11.3	Retardadores de fissuras em pavimentos degradados	32
2.5.2.11.4	Reposição de pavimentos em locais de abertura de valas	32
2.5.2.11.5	Pavimentação de passeios, separadores ou ilhas direccionais	32
3	Metodologia de avaliação e descrição do caso de estudo	33
3.1	Revisão bibliográfica	33
3.2	Definição e caracterização dos Casos de estudo	33
3.3	Metodologia de recolha de dados	34
3.3.1	Observação directa	34
3.3.2	Diálogo	34
3.3.3	Análise documental	35
3.4	Definição do modelo	35
3.5	Modo de implementação	35
3.6	Análise dos resultados	35
4	Proposta de modelo	37
4.1	Introdução	37

4.2	Objectivos do modelo	39
4.3	Escolha de processos que se pretendem melhorar	39
4.4	Mapeamento do estado actual do processo	39
4.5	Análise do estado actual e proposta de melhoramento	41
4.5.1	Central de misturas betuminosas a quente	42
4.5.2	Frente de trabalho de pavimentação com mistura betuminosa a quente	44
4.5.3	Fresagem	47
4.5.4	Colocação de lancis	49
4.5.5	Construção de valetas	51
4.5.6	Construção de caixas de visita e sumidouros	52
4.6	Mapeamento do estado futuro	53
4.7	Implementação das novas propostas	55
5	Análise dos resultados	63
6	Discussão de resultados	69
7	Conclusões	73
7.1	Limitações do estudo	74
8	Recomendações para trabalhos futuros	75
9	Bibliografia	77
Anexos.....		81
I – Modo de aplicação do pensamento Lean		83
II – Mapeamento de fluxo de valor		84
III - Ícones utilizados no mapeamento de fluxo de valor		89
IV - Mapeamento do estado actual do processo.....		90
V – Mapeamento do estado futuro do processo		91

Índice de quadros

Quadro 1 - Factores de planeamento <i>Lean</i>	10
Quadro 2 - Mapeamento do estado actual.....	40
Quadro 3 - Mapeamento do estado futuro	54

Índice de figuras

Figura 1 - Etapas do MFV	38
Figura 2 - Tremonhas e depósito de materiais	43
Figura 3 – Mistura betuminosa caída no chão	45
Figura 4 - Pavimentação manual	45
Figura 5 - Marcação da espessura a fresar	47
Figura 6 - Junta fresada para nova pavimentação.....	48
Figura 7 - Fresagem para o pavimento	48
Figura 8 - Processo de fresagem do pavimento para colocação do lancil	50
Figura 9 - Preenchimento do espaço com mistura betuminosa.....	50
Figura 10 - Execução de valetas.....	51
Figura 11 - Construção de caixa de visita à cota pretendida.....	52
Figura 12 - Manilhas de escoamento da água.....	53
Figura 13 – Limpeza da junta elaborada manualmente.....	57
Figura 14 - Controlo da temperatura da mistura betuminosa	57
Figura 15 - Depósito de água no pavimento	58
Figura 16 - Processo de fresagem executado com todos os meios necessários.....	59
Figura 17 - Processo de colocação dos lancis e pavimentação em simultâneo	60
Figura 18 - Processo de colocação de lancis organizado segundo 5 S	60
Figura 19 - Substituição do tipo de terreno	61
Figura 20 – Caixa de visita à cota do pavimento	62
Figura 21 - Problemas no pavimento devido à acção da chuva	64
Figura 22 - Quantidade pavimentada.....	65
Figura 23 - Tempo de fresagem.....	66
Figura 24 - Tempo de colocação de lancis	67
Figura 25 - Tempo de construção de caixas de visita	68
Figura 26 - Tremonhas e marcadores existentes	69
Figura 27 - Problemas da pavimentação com chuva.....	70

1 Introdução

As empresas de obras rodoviárias deparam-se com um problema na sua organização que é o excesso de desperdícios em toda a sua estrutura. Esses desperdícios são a nível de materiais, processos, maquinaria e mão-de-obra (Farrar *et al.*, 2004).

Os princípios *Lean* implicam a eliminação de resíduos e garantem fluxo de valor (Hicks, 2007).

Por conseguinte após a análise dos desperdícios existentes nas obras rodoviárias, a aplicação da *Lean construction* (LC) conseguirá eliminar os desperdícios mantendo ou acrescentando valor ao produto final.

1.1 Hipótese de estudo

Deste modo a hipótese de estudo é:

Quais os benefícios da aplicação do *Lean construction* às obras rodoviárias e qual modo de aplicação das mesmas?

1.2 Justificação

O sector da construção civil representa 4,9% do produto interno bruto de Portugal, proporcionando um elevado número de postos de trabalho (Banco Portugal, 2009).

O sector da construção de obras rodoviárias desenvolveu-se muito com a entrada de Portugal para a União Europeia.

Na última década assistiu-se a um crescimento de cerca de 33% da rede nacional de estradas, com o segmento das auto-estradas a registar um incremento significativo (cerca de +240%) (Banco Portugal, 2009).

Com o passar dos anos e o surgimento de empresas concorrentes no ramo, as margens de lucro tornaram-se mais pequenas, logo as empresas têm procurado aumentar a sua produtividade. Na actualidade tem que existir um planeamento rigoroso para que as empresas consigam obter lucro nos trabalhos realizados, sem diminuir a qualidade.

O processo construtivo de estradas é linear e é um trabalho que se vai repetindo ao longo de todo o traçado. A filosofia *Lean* começou por se desenvolver em linhas de montagem, pelo que se pode analisar a aplicabilidade desta filosofia a obras rodoviárias. Em contrapartida, é um tipo de obras em que se está muito dependente das condições meteorológicas e que o trabalho desenvolve-se em várias frentes, logo o controlo de processos e implementação dos mesmos é mais difícil. As quantidades de materiais são sempre muito grandes, porque os trabalhos se desenvolvem em torno das mesmas actividades, isto é, poucas actividades mas com muita quantidade.

A *Lean Production* (LP) começou por ser desenvolvida pelos engenheiros Taiichi Ohno e Eiji Toyota na fábrica da Toyota em 1950, esta filosofia foi implementada na linha de montagem desta

empresa onde os processos são repetidos sucessivamente. Mais tarde esta filosofia começou a ser implementada à construção civil, originando a *LC*.

Nos dias de hoje é essencial para qualquer empresa combater os desperdícios. Por conseguinte, é de elevado interesse compreender a adequabilidade e benefícios que a *LC* pode originar em obras rodoviárias. Esta filosofia encaixa nas obras rodoviárias, porque esta obra desenvolve-se em linha recta e é uma repetição consecutiva de processos.

1.3 Objectivos

O objectivo deste trabalho é analisar a adequabilidade e benefícios que a *LC* pode introduzir em obras rodoviárias.

De início é elaborada uma descrição pormenorizada da *Lean construction* e análise aos processos construtivos actuais nas empresas de obras rodoviárias, identificando-se todas as metodologias existentes, modo de organização e gestão das actividades. De seguida, identificam-se os desperdícios predominantes em obras rodoviárias, percebendo quais são aqueles que contribuem para um maior incremento de custos na empresa e os desperdícios que são mais fáceis de eliminar. Por fim através da aplicação da filosofia *Lean construction* analisa-se a possibilidade de diminuir os desperdícios e eliminar processos que não contribuem com valor para o produto final. O pensamento *Lean* aplica-se a todos os sectores, e não só a produção, nomeadamente ao desenvolvimento do produto, relação com fornecedores, estratégia de venda e gestão de pessoas, isto é, aplica-se esta filosofia a todos os intervenientes no processo.

A aplicação da filosofia *Lean* tem demonstrado bons resultados em vastas áreas; por conseguinte pretende analisar-se os resultados da aplicação desta filosofia numa obra rodoviária em curso.

1.4 Estrutura da dissertação

No que se refere à estruturação da dissertação, esta encontra-se dividida em nove capítulos. De seguida é feita uma descrição resumida dos capítulos e seu conteúdo:

Capítulo 1 - Introdução: é elaborada a hipótese de estudo, objectivos, justificação e a estrutura da dissertação;

Capítulo 2 - Estado do conhecimento: procedeu-se a uma revisão bibliográfica relativa aos princípios *Lean* e ao modo de execução de obras rodoviárias;

Capítulo 3 – Metodologia de avaliação: neste capítulo são definidas as características do caso de estudo, a metodologia para recolha de dados, o modo de implementação e de análise dos dados;

Capítulo 4 – Proposta de modelo: é feita uma introdução do modelo que vai ser implementado e aos objectivos da implementação. São mencionados os dados do levantamento em obra;

Capítulo 5 – Análise dos resultados: neste capítulo é analisada a aplicabilidade da filosofia *Lean*, suas técnicas e ferramentas a obras rodoviárias e as vantagens que podem originar neste tipo de obras;

Capítulo 6 - Discussão dos resultados: será feita uma discussão dos resultados que se obteve depois da implementação da filosofia Lean nas várias actividades analisadas;

Capítulo 7 – Conclusões: São descritas as ferramentas Lean que se implementaram e as melhorias que originaram. Neste capítulo também são abordadas as limitações que surgiram na realização deste trabalho;

Capítulo 8 – Recomendações para trabalhos futuros: São mencionados todos os futuros campos de pesquisa que é relevante realizar sobre obras rodoviárias;

Capítulo 9 – Bibliografia: São mencionadas todas as referências bibliográficas que foram consultadas;

2 Estado do conhecimento

Neste capítulo, serão analisados bases e conceitos para a compreensão da *LC*. Será feita uma análise da produção em obras rodoviárias, a descrição da *LP* e em que aspectos se baseia a *LC* para uma futura aplicabilidade desta estrutura em obras rodoviárias.

O termo *Lean Thinking* traduzido para português significa “mentalidade enxuta”. *Lean* é uma filosofia que pretende eliminar os desperdícios na produção e aumentar o valor do produto final. Resumidamente, a ideia base é maximizar o valor para o consumidor, minimizando-se o desperdício e os recursos necessários (Womack, 2008).

Este conceito tem sido tema de artigos e estudos que demonstram o seu potencial de optimização nas várias áreas de aplicação.

2.1 Análise histórica

Em meados do século XVIII, teve origem em Inglaterra a Revolução Industrial, que se espalhou rapidamente para o resto do mundo. Com o progresso no sector industrial da época, surgiu a necessidade de organizar e administrar complexos sistemas de produção.

No final do século XIX, a indústria em todo o mundo era muito precária e o sistema de produção tinha como objectivo ir ao encontro das necessidades do cliente. A partir do final desse século e início do século XX, surgiram grandes mudanças na relação do homem com a indústria.

Em 1914, Henry Ford começa a desenvolver a sua linha de produção em massa, tendo como objectivo criar um fluxo contínuo de produção (linha de montagem) de forma a produzir grandes quantidades a baixo custo.

Em 1950 no Japão os engenheiros Taiichi Ohno e Eiji Toyoda começaram a implementar no Toyota *Production System* (TPS), o conceito de *LP*. Os objectivos são a eliminação de desperdício ao longo da produção, melhoria da produtividade e obtenção de um produto de valor acrescentado. A empresa Ford tinha uma procura quase ilimitada; Ohno queria construir carros personalizados, entregando-os instantaneamente e sem stocks intermédios. Ohno acompanhou os trabalhos de Henry Ford e continuou o desenvolvimento do fluxo de gestão da produção. Mas ao contrário de Ford, que tinha como objectivo a obtenção de um produto standard, Ohno queria construir carros por encomenda (Howell, 1999).

Ohno e outros engenheiros japoneses familiarizados com a produção em massa de carros, quando visitaram fábricas nos Estados Unidos, viram resíduos em cada turno. Ohno constatou que para serem mantidas máquinas em laboração máxima, não se cuidava de quantidade de stocks que se originava – denominando esta constatação por "A perda de excesso de produção." Observou defeitos em carros construídos por causa da pressão em manter a linha de montagem em funcionamento, concluindo que a produção a todo o custo significava defeitos no fabrico, isto é, desperdícios (Howell, 1999).

A filosofia *Lean* começou a ser desenvolvida no Japão na medida em que os Japoneses ao observarem o desenvolvimento e as leis de trabalho dos Estados Unidos, começaram a reivindicar

condições de trabalho e melhores salários. Para fazer face a estas adversidades, a Toyota começou a desenvolver esta filosofia para a diminuição de desperdícios, consequentemente com aumento de lucros, podendo assim satisfazer as necessidades dos trabalhadores e competir com as empresas dos Estados Unidos.

Só mais tarde, na última década do século XX é que as empresas ocidentais começaram a aperceber-se dos bons resultados que esta política estava a originar em algumas empresas, começando a ser tema em várias publicações (Holweg, 2007).

2.2 *Lean Production*

Para Warnecke e Huser (1995), a filosofia *Lean* consiste num conjunto de métodos e medidas, que têm o potencial de acarretar um estado *Lean*, originando uma empresa mais competitiva. A ideia central é tornar todas as actividades realizadas o mais *Lean* possível (Kosonen e Buharist, 1995).

O pensamento *Lean* tem como objectivo alcançar um perfeito fluxo de trabalho e simultaneamente minimizar desperdícios, aumentando a capacidade de se adaptar face a novas situações. É essencial que todos estes conceitos sejam compreendidos, considerados e implementados pelos trabalhadores que produzem os produtos, acrescentando valor ao processo.

Nas teorias da gestão da manufactura distingue-se *push* (empurre) e *pull* (puxe) como duas técnicas para a gestão do fluxo de trabalho (Hopp e Spearman, 1996). Um sistema baseado em *push* empurra trabalho para o processo de produção com base em datas pré-estabelecidas. Um sistema *pull* permite que com base no estado do processo assim seja definida a produção.

Em 1990 Womack e Jones publicam o livro “*The machine that changed the world*” em que é feita uma análise entre a produção em massa na General Motors (GM) e a produção enxuta na Toyota, a qual consegue produzir um automóvel em quase metade do tempo da GM, ocupando menos espaço na montagem e em que o stock de peças é de 2 horas enquanto na GM é de 2 semanas.

Através da análise realizada a várias empresas que utilizavam o TPS, estes autores, propuseram os seguintes princípios do *Lean Thinking*:

- Especificar o que cria, ou não cria, valor para cada produto/serviço;
- Identificar os fluxos de valor e eliminar as actividades que não acrescentam valor;
- Criar um fluxo de valor contínuo;
- Deixar o cliente “puxar” o fluxo de valor;
- Perseguir a perfeição;

O pensamento *Lean* começa por definir a finalidade do produto, os factores de decisão, o momento, o ritmo e o local onde o cliente quer o produto, compreender as características e o que realmente agrega valor para o cliente e para o utilizador final.

De seguida deve identificar-se os desperdícios, eliminá-los e medi-los, para que se consiga uma redução de custos e de processos.

Com o intuito que exista um fluxo contínuo é essencial o conhecimento de todos os processos, utilização de métodos de avaliação internos e conhecimento dos processos externos (fornecedores e clientes).

Uma das características mais importantes desta filosofia é que o cliente tenha a possibilidade de “puxar” as operações, isto é, o fornecedor ir ao encontro das necessidades do cliente, e não da sua capacidade de produção (Ballard e Howell, 1998).

Ao longo de todo o processo tem que existir uma interacção constante entre cliente e fornecedor. A empresa tem que saber ouvir sempre os seus clientes, analisando qualitativamente e quantitativamente os objectivos destes para se adaptar ao melhor modo de implementação de Lean (Anexo I).

Segundo Ballard e Howell (1998) os elementos básicos são: antevisão (planeamento), mecanismo de produção, inventário do trabalho que pode ser realizado, atribuições da qualidade (Mecanismo de protecção da produção), plano de trabalho semanal (obras que serão feitas), percentagem plano completo (PPC) e identificação das causas de não conclusão (encontrar as causas do mau desempenho no processo de planeamento).

Segundo Shah e Ward (2007) os 10 factores que constituem o complemento para a filosofia da LP são:

- Fornecer regularmente *feedback* aos fornecedores sobre o seu desempenho;
- *Just-in-time* (entrega pelos fornecedores): garante que os fornecedores entreguem a quantidade certa, à hora certa, no lugar certo;
- *Suppdevt* (desenvolvimento de fornecedores): desenvolvimento de fornecedores para que eles possam estar mais envolvidos no processo de produção da empresa;
- *Custinv* (envolvimento do cliente): foco nos clientes da empresa e suas necessidades;
- *Pull* (puxar): facilitar a produção *JIT*, incluindo início ou paragem da produção.
- *Flow* (fluxo contínuo): estabelecer mecanismos que facilitem o fluxo contínuo de produtos;
- *Setup* (configurar a redução do tempo): reduzir o processo e o tempo entre as trocas de produtos;
- *TPM* (manutenção preventiva total): manutenção preventiva para alcançar um elevado nível de disponibilidade de equipamentos;
- *SPC* (controlo estatístico de processo): assegurar que cada processo fornecerá materiais sem defeitos;
- *Empinv* (envolvimento dos trabalhadores): o papel dos trabalhadores na resolução de problemas.

O *Lean production system (LPS)* pode ser entendido como um mecanismo para transformar o que deveria ser feito sobre o que pode ser feito, formando assim um inventário de trabalho pronto, a partir da qual os planos de trabalho semanal podem ser formados (Ballard e Howell, 1998).

Womack e Jones (2000) editaram o livro “*Lean Thinking*” em que afirmam “Ao aprender a identificar desperdícios você descobrirá que há muito mais desperdícios ao seu redor do que você jamais imaginou...”. A ferramenta Lean ou pensamento enxuto é uma óptima ferramenta para combater estes desperdícios, isto é, “fazer cada vez mais com cada vez menos, ..., e ao mesmo tempo, tornar-se cada vez mais capaz de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam”.

2.3 Natureza singular da construção

A construção é um processo que não possui uma propriedade única que a caracterize. Koskela (1992) realça as três particularidades da natureza da construção:

- Natureza específica de cada projecto – produto singular, cada caso é dimensionado e criado especialmente para cada cliente com base no que foi projectado e desenhado;
- Produção afecta a determinado local e em torno do produto – cada produto está sujeito e condicionado às condições inerentes à própria localização;
- Multi-organização de diversas especialidades e de carácter temporário – existem diversas especialidades de intervenientes no processo, originando uma cadeia de fornecedores diversificada.

A construção pode ser considerada como sendo o dimensionamento e realização de um projecto de uma determinada obra num respectivo local. A produção num local específico de um projecto único origina uma grande incerteza e variação do tipo de produto final. Deste modo o projecto fica dependente de vários factores, tais como: o clima, a legislação específica de cada local, os prazos de aprovação e de construção, o tipo de solo, a acção sísmica, as acções de agentes naturais, entre outros.

2.4 *Lean Construction*

Os principais problemas da construção civil em Portugal são: a baixa produtividade dos trabalhadores, a falta de interacção entre os vários intervenientes no processo, falta de segurança e más condições de trabalho (AECOPS, 2007). Ao longo dos anos tem-se tentado suprimir estes problemas através de soluções como a pré-fabricação, informatização e software de planeamento, sendo que outra solução que tem sido equacionada é a aplicação da gestão *Lean*, devido aos bons resultados da sua aplicação na manufactura. Por conseguinte tem-se desenvolvido a *LC*, isto é, aplicação das filosofias *Lean* à Construção.

2.4.1 Princípios da *Lean Construction*

Segundo Womack e Jones (2000) a *Lean Production* é um ponto de partida para entender-se a da *LC*, que se baseia no trabalho em equipa, comunicação, uso eficiente de recursos, eliminação de desperdícios e melhoria contínua.

Koskela (1992) definiu a *LC* em 11 princípios:

- Eliminar as actividades que não acrescentam valor (desperdício);
- Consideração sistemática dos requisitos do cliente, de modo a aumentar o valor final do produto;
- Produção de produtos uniformes, porque a variação na produção aumenta as actividades que não acrescentam valor;

- Reduzir o tempo de ciclos através de uma centralização da hierarquia organizacional;
- Simplificação da produção, eliminando passos ou procedimentos desnecessários;
- Flexibilidade de toda a produção, através de equipas multi-especializadas para repetição de processos e modulação adaptável;
- Transparência nos processos, facilitando o controlo por parte dos responsáveis, melhorando a performance dos trabalhadores;
- Controlo de todo o processo para optimização do fluxo de trabalho, através de equipas autónomas e planeamento a longo prazo com os fornecedores;
- Redução de desperdício e acréscimo de actividades que acrescentem valor ao produto final;
- Equilíbrio entre os processos de conservação e melhorias de fluxo, sendo que um fluxo melhorado origina menor investimento em equipamento;
- Análise *SWOT* da empresa.

Na implementação da *LP* à construção não se pretende transformar esta numa produção do tipo manufactura. Não se vão usar apenas as ferramentas Lean para a manufactura, pretende desenvolver-se igualmente novos princípios que vão ao encontro da filosofia Lean combatendo as principais dificuldades existentes na construção (Koskela, 2000).

Koskela (2000) definiu cinco princípios para um sistema de controlo de produção:

- Trabalho deve ir ao encontro dos seus pré-requisitos;
- A realização dos trabalhos é medida e monitorizada;
- Causas da não realização são investigadas e removidas;
- Informação de tarefas não atribuídas;
- No planeamento, os pré-requisitos das atribuições de tarefas estão activamente preparadas.

Toda a produção deve ser bem executada à primeira, o planeamento e gestão deve ocorrer durante todo o processo, os materiais devem ser entregues em obra apenas quando necessário, deve ser medido o desempenho com regularidade e aprender com a experiência.

Koskela (2000) definiu que para uma correcta aplicação do *LC* é de elevado interesse compreender quais são os principais desperdícios a serem eliminados da construção (7 desperdícios do *lean thinking*):

- Falta de prontidão nos recursos originando tempo de espera;
- Etapas desnecessárias no processo;
- Deslocação de materiais, equipamentos e pessoas;
- Excesso de recursos para a realização de uma tarefa;
- Elaboração de excesso de inventários de materiais e fichas de conformidade dos materiais;
- Produção excessiva devido a utilização de demasiados recursos;
- Defeitos na produção, originando correcção dos mesmos, logo utilização de mais materiais e mão-de-obra;

Em 2004 Koskela e Bertelsen sugerem um novo desperdício para além destes sete tradicionais do *lean thinking*. Muitas tarefas são iniciadas sem todos os recursos ou meios necessários e a sua realização prossegue sem esses elementos fundamentais, denominando este desperdício por “*making-do*”. O investigador considera que este desperdício é um dos mais frequentes na indústria da construção.

Nos projectos de *LC*, a incerteza aumenta proporcionalmente ao número de participantes, incluindo o proprietário, o projectista, o empreiteiro geral e os subempreiteiros. Sugere-se que a coordenação é um método eficaz para minimizar o impacto da incerteza (Shuquan e Kongguo, 2008).

Chitla (2002) definiu para a *LC* as seguintes características:

- Processos e objectivos definidos para alcançar as necessidades e requisitos do cliente;
- Interacção entre as equipas de desenho de produto e as de execução, de modo a fornecer mais valor ao produto;
- Possibilidade de alteração do trabalho ao longo da cadeia de produção, de modo a produzir apenas a quantidade e produto necessário;
- Organizar todo o processo para aumentar o valor e reduzir o desperdício ao nível da execução. Melhorar e actualizar regularmente o planeamento para melhorar a performance a nível de projecto.

A *LC* à semelhança do sistema *LP*, tem como objectivo alcançar uma entrega de valor de forma viável e rápida para o cliente, desafiando a confiança nas relações de permuta entre tempo, custo e qualidade (Peneirol, 2007).

Para Ballard (1997) os contratos são uma dimensão de relacionamentos organizacionais e a cooperação deve basear-se na apreciação realista e reconhecimento de auto-interesses dos participantes de um projecto. Os contratos devem apoiar estes auto-interesses e fornecer um quadro global para o melhor sucesso do projecto. Segue-se uma tabela com os 4 factores de planeamento *Lean* (Quadro 1).

Quadro 1 - Factores de planeamento *Lean*

Elementos	Direcção
Organização	Suporte organizacional Conhecimento Coordenação e conhecimento
Atitude	Capacidade do trabalhador Compromisso
Contratos	Interesse pessoal Responsabilidade
Planeamento	Controlo de produção

O uso crescente de informações das reuniões do planeamento do *LPS* irá fornecer informações de uma forma que é apropriado para a tomada de decisões de projecto. Por exemplo, fornece indicação da confiança dos subempreiteiros, fornecedores, projectistas ou outros intervenientes, mantendo registo do PPC individual, e suas causas de não conclusão (Ballard, 1997).

Nos resultados apresentados por Formoso (2009), as duas categorias que causam maior número de ocorrências que prejudicam a produtividade são a realização dos trabalhos (42%) e o planeamento (28%). A maioria dos problemas (81%) é predominantemente de origem interna (incluindo as categorias de trabalho, materiais, equipamentos, design e planeamento), apenas 19% são de origem externa (interferência do cliente, problemas climáticos e fornecedores). Estes números indicam que, em geral, há um grande potencial de melhorar o desempenho do planeamento e

controle da produção, uma vez que a maioria dos problemas são principalmente internos à organização.

2.4.2 Dificuldades de implementação de *Lean*

Segundo Koskela (1992) o sector da construção é bastante abrangente, na medida que possui diversas etapas com diversos intervenientes. Segundo o mesmo autor as principais dificuldades para a aplicação do *Lean thinking* a este sector são:

- A especificidade e singularidade de cada construção;
- Local e produto afectam a produção;
- Coordenação de diversas actividades e especialidades em simultâneo, para o mesmo produto;
- Pré-fabricação de produtos de grande escala em locais fixos, que têm de ser transportados para o local de construção.

O tipo de cliente pode mudar de obra para obra e de local para local, assim como a possibilidade de ele intervir directamente no processo de construção.

Os requisitos do produto final vão ser influenciados pelo tipo de solo, acção sísmica, as acções agressivas dos agentes naturais, a legislação específica, o clima da região, entre outros. Segundo Koskela (2000) a produção em estaleiro está dependente do planeamento no estaleiro, contratar ou montar infra-estruturas e do espaço existente.

Segundo Ballard e Howell (1998) existe uma grande diferença entre os trabalhos numa obra e os trabalhos da linha de montagem, tendo especial destaque o modo como são dirigidos. Uma fábrica é constituída por uma linha de montagem, constituída por máquinas que definem um fluxo de trabalho, na construção o fluxo é garantido pelas normas de trabalho. Através destas normas definem-se os trabalhos para garantir um fluxo de trabalho e consequentemente otimizar as soluções.

A aplicação da filosofia *Lean* implica a adopção da perspectiva da construção como sistema de produção enquanto projecto (Ballard e Howell, 1998).

Os mesmos autores afirmam que a produção deve ser elaborada com o máximo de detalhe, ajuda de todos os intervenientes e interligação entre eles de modo a melhorar o produto final. A escolha dos parceiros deve ser minuciosa de acordo com a sua experiência, capacidade de produção, organização e eficiência.

Depois de alguns casos analisados Alarcón *et al.* (2008) definiram algumas barreiras na aplicação dos princípios *Lean* à construção:

- Tempo: É considerado a principal dificuldade na implementação de novas práticas no decorrer do projecto;
- Formação: A segunda dificuldade, em ordem de importância na execução, foi a falta de formação e de prática;
- Organização: para responder adequadamente ao desafio da aplicação do *LPS*, foi necessário criar ou fortalecer alguns elementos da organização;

- Falta de autocritica: limita a capacidade de aprender com os erros pois apenas uma parte dos problemas foram identificados.

Além de compreender as barreiras identificadas durante o trabalho, também se identificaram barreiras causadas por dúvidas sobre o *LPS*:

- Baixa compreensão dos conceitos de *LPS* (produção de unidades, o fluxo de trabalho, produção puxada);
- Baixa utilização dos diferentes elementos de *LPS* (interacção dos intervenientes, falta de tomada de acções correctivas);
- A administração inadequada das informações necessárias para gerar um "ciclo de aprendizagem" e de tomar acções de medidas correctivas;
- Fraca comunicação e transparência entre participantes do processo de produção (gerentes, administradores, capatazes, etc.);
- Falta de integração da cadeia de produção (cliente, fornecedores de materiais e subcontratados).

Para Sacks *et al.* (2010), a automação em Construção continua a ser difícil de alcançar. Segundo os autores, uma série de factores na coordenação interagem entre as equipas comerciais, empreiteiro, fornecedores de equipamentos, gestão de pessoal, construtores, desenhadores e inspectores. Sendo que os principais factores a destacar são:

- Dispersão física das equipas dentro da obra, onde normalmente são ocultados desempenhos pela própria estrutura;
- Relação dos contratos com os termos de remuneração que incentivem uma optimização local;
- Variação das taxas de produtividade do complexo, o que torna muito difícil prever o progresso a curto prazo;
- Falta de relatórios em tempo real do progresso, apesar dos múltiplos esforços de investigação que visam automatizar este aspecto;
- Dependência de indivíduos para obter informações críticas, sobre o que está feito ou tem de ser feito;
- Dependência de documentos em papel para comunicar informação de produto, ou como limitações de erros de documentação do projecto, falta de clareza da informação.

Segundo Ballard (1994), referenciado por Peneirol (2007), para conseguir alcançar melhor planeamento e melhores resultados tem que se transformar obstáculos da construção em oportunidades para a mudança Lean, identificando os seguintes obstáculos:

- A gestão foca-se no controlo, o que previne que ocorram mudanças negativas, mas negligencia os avanços, que causam boas mudanças;
- O Planeamento não é concebido enquanto sistema, mas é antes percebido em termos de qualificações e talento dos indivíduos que estão encarregues de planear;
- Planeamento é considerado como uma calendarização, desvalorizando por completo a equipa de planeamento;
- Não é medida a performance do sistema de planeamento;

- As falhas de planeamento não são analisadas de forma a identificar e agir na raiz das causas.

2.4.3 Definição de valor na indústria da construção

Na construção civil, o conceito de valor tem sido relacionado a parâmetros como custo, função e qualidade.

Garrido *et al.* (2010) reescrevem que Bertelsen e Emmitt (2005) reconheceram a deficiência na compreensão do conceito de valor e argumentaram que, sem a compreensão do cliente o conceito de valor é indefinido, e sem uma noção concreta do valor, o desperdício é ainda maior.

Garrido *et al.* (2010) afirmam que os mesmos autores argumentaram que os clientes representam diferentes interesses de três grupos principais: o proprietário, os utilizadores e a sociedade, que valorizam coisas diferentes em momentos diferentes ao longo do ciclo de vida dos projectos de construção.

Como LC tem sido influenciada pela experiência *Lean* na produção, há uma tendência de ver a construção como um processo de transformação, onde a entrega de valor está associado ao cumprimento dos requisitos do cliente. Desta forma, Koskela (1992) afirma que a gestão do valor garante que o processo de construção gera o valor pretendido pelo cliente.

Actualmente, o conceito de valor por uma perspectiva LC continua a ser um termo confuso que não foi profundamente investigado (Garrido *et al.*, 2010).

2.4.4 Transformação, Fluxo e Valor

Koskela (2000) define uma teoria de produção e demonstra a sua aplicabilidade na construção. Argumenta que a construção deve ser encarada como um fluxo de trabalho e criação de valor, e não apenas como um processo de transformação. Esta teoria foi denominada de teoria de produção TFV – Transformação, Fluxo e Valor.

A Transformação pretende alcançar uma optimização do funcionamento, isto é, engloba um estabelecimento de parâmetros e processos de qualidade e segurança e uma gestão do elevado número de contratos que a construção envolve.

O Fluxo introduz novas actividades de gestão, sendo que uma delas é o aumento da interacção entre o empreiteiro geral e os subcontratados, entre os produtores e os fornecedores dos materiais e toda a logística envolvida.

O Valor pretende que desde as primeiras fases do projecto, desenho, dimensionamento e o valor do projecto para o cliente seja garantido (Koskela e Bertelsen, 2004).

2.4.5 Implementação do *Lean construction*

A implementação do *Lean* na construção civil centrou-se inicialmente muito na sua aplicação desta filosofia a estaleiros, isto é, controlando a maquinaria, materiais e recursos humanos para realizar uma tarefa (Howell, 1999).

Segundo Daeyoung (2002) o objectivo da *Lean construction* é eliminar os desperdícios, sobretudo os criados pelas actividades que não acrescentam valor. Uma correcta implementação requer uma organização entre actividades, melhorar a fiabilidade do equipamento, reduzir a incerteza e integrar a gestão de produção. Na realização das actividades os participantes do projecto têm que ter informação sobre o estado dos sistemas de produção e possuir poder de decisão para agirem sem necessitarem de ordens dos seus superiores hierárquicos.

O desenvolvimento desta filosofia nos últimos tempos, começou a focalizar-se mais nos fornecedores na medida em que ocorria entrega de materiais errados, entrega antes do tempo previsto ou entregas atrasadas, originando paragens ou modificações nas obras e consequentemente aumento de custos. As equipas passaram a ter um papel bastante importante, na medida em que estas passaram a ser responsáveis pela garantia da qualidade do produto.

De seguida serão abordadas algumas técnicas e ferramentas de aplicação do *Lean* à construção e o modo como podem ser aplicadas.

2.4.5.1 Mapeamento de Fluxo de Valor

No capítulo 2.4.1 já foram abordadas as definições de fluxo e de valor.

Esta ferramenta tem como objectivo atingir eficiências nos processos produtivos, através da eliminação de desperdício, aumento do rendimento das equipas de trabalho, redução dos tempos de ciclo, custos e inventários (Vonderembse *et al.*, 2006).

O mapeamento de fluxo de valor (MFV) é o mapeamento de todas as etapas da produção desde a matéria-prima até ao produto final para o consumidor (Rother e Shook, 1998 referenciados por Abdulmalek & Rajgopal, 2007).

Os mesmos autores, afirmam que o objectivo principal da *Lean* é analisar um quadro mais amplo e não apenas os processos individuais, obtendo assim melhorias no todo e não somente nas partes. É uma ferramenta de lápis e papel, em que é criado utilizando um conjunto predefinido de ícones padronizados.

Fontanini (2004) com base em estudos do tipo de relacionamento que os intervenientes num fluxo de valor devem ter, indica como principais factores os seguintes:

- Parceria – Relacionamento cooperativo entre comprador e fornecedores avaliando os riscos e benefícios;
- Estabilidade nos relacionamentos – Contratos a longo prazo com os fornecedores, cria estabilidade e confiança entre as partes, estabelecendo prioridades na entrega, descontos nos pagamentos e cumprimento dos prazos de entrega;

- Redução de custos – partilha de ideias para a redução de custos pelas várias empresas intervenientes. Nos anos seguintes, devido aos ganhos com a performance da produtividade, os lucros crescem para todas as partes;
- Fornecedores localizados próximos – os fornecedores podem ser agrupados próximos ao comprador, proporcionando ganhos consideráveis na logística e nos custos;
- Aprendizagem mútua – o comprador deve acompanhar a produção e fornecer informações ao fornecedor, para que este produza materiais que vão ao encontro das suas necessidades actuais e futuras;
- Esforço conjunto para redução de desperdícios – significa garantir responsabilidades entre todos os intervenientes, bom relacionamento entre fornecedores e compradores para que seja fornecido sempre tudo correctamente;
- Entregas e produção – é necessário um estímulo para os fornecedores aplicarem o *JIT*, entregas no local de utilização, em lotes pequenos, frequentes e no tempo requisitado;
- Qualidade garantida – a qualidade deve ser praticada desde o início, usando ferramentas e ideias Lean. Cada pessoa é responsável pelos seus erros, tendo que garantir qualidade, prazo e custos;
- Melhoria contínua (*Kaizen*) – é um ciclo em que o objectivo é a melhoria continua. Os fornecedores e clientes devem ter capacidade e disponibilidade para melhorias dentro do seu fluxo.

Para criar o fluxo de valor a técnica mais apropriada e importante é o mapeamento de fluxo de valor (Rother e Shook, 1998).

Abdulmalek & Rajgopal (2007) definiram que a metodologia a ser seguida pelo MFV é:

- (1º) Escolha do processo que se pretende melhorar;
- (2º) Mapeamento do estado actual do processo, isto é, análise de como as coisas que estão a ser feitas actualmente;
- (3º) Análise do processo, verificando os desperdícios e elaborando propostas de melhoria;
- (4º) Mapeamento do estado futuro, sendo a proposta para o desenvolvimento futuro, é elaborado para responder a um conjunto de questões sobre temas relacionados com a eficiência;
- (5º) Implementação das novas propostas e medição dos resultados obtidos para análise dos mesmos.

2.4.5.2 Just-In-Time

Esta metodologia baseia-se na produção “puxada”, define-se como um sistema no qual a produção e a movimentação ocorrem à medida que são necessários. Produto certo, no momento certo, e na quantidade certa (Deffense, 2010).

Just-in-time surge como um dos pilares da sustentabilidade do sistema TPS. Sendo agora parte integrante do sistema LC, baseia-se num sistema de “puxar” a produção originando apenas o necessário, no momento necessário e nas quantidades necessárias, e inclui aspectos de administração de materiais, gestão da qualidade, espaço físico, projecto do produto, organização do trabalho e gestão de recursos humanos (Gonçalves, 2009).

O processo construtivo é orientado através de um planeamento, que é definido para se cumprir com os prazos. Raramente esse planeamento consegue ser cumprido devido às várias condicionantes existentes como falhas nos fornecimentos, variação das condições de trabalho, condições meteorológicas, correcções de projecto, etc. Os executantes são forçados a cumprir os prazos, sendo forçados a aumentar os recursos de produção, criando *buffers* para fazer face a estas condicionantes.

Segundo Ballard e Howell (1995) na construção, existem 3 tipos de buffers utilizados: os *physical* (físicos) *buffers*, os *schedule* (calendário) *buffers* e os *plan* (plano) *buffers*.

Os *physical buffers* são materiais, mão-de-obra e equipamento que são adicionados na frente de trabalho para compensar atrasos que possam ter ocorrido. Estes *buffers* originam problemas a nível de quantidade de equipamento e mão-de-obra mobilizada, de espaço em estaleiro para materiais, sendo que não deve ser utilizado constantemente, apenas como ultimo recurso (Corrêa e Giansesi, 1993).

Os *schedule buffers* são tempos adicionados ao planeamento da obra para fazer face aos atrasos e à variabilidade nas entregas dos fornecedores, sendo que não eliminam as causas dessa variabilidade, apenas tentam minimizar as suas consequências. Estes *buffers* devem ser correctamente dimensionados e as actividades com maior variabilidade devem ser colocadas o mais possível para o fim do processo.

Os *plan buffers* são tempos necessários para garantir que todas tarefas são planeadas de modo a que, a de montante esteja terminada para iniciar a de jusante. Pretende eliminar a variabilidade diminuindo assim os *Schedule buffers*, com um planeamento mais rigoroso.

2.4.5.3 Kanban

É um sistema de sinalização desenvolvido pela Toyota para controlar os níveis das existências ou inventários. *Kanban* controla a quantidade e a altura necessária para entrega de matéria-prima, em que normalmente existe algo que simboliza a necessidade de fornecimento.

2.4.5.4 Kaizen

Kaizen é uma palavra de origem japonesa com o significado de melhoria continua.

É um processo cíclico que proporciona uma melhoria contínua do desempenho dos processos e sistemas de trabalho. Analisam-se todas as pessoas, equipamentos e materiais que elaboram um processo com o objectivo de melhorar a sua prestação.

2.4.5.5 5 S

É uma metodologia de origem Japonesa que aborda a organização e padronização dos espaços. Esta metodologia é definida por 5 princípios em que as suas palavras começam por “s”:

Seiri (Senso de Utilização): Análise de todos as ferramentas e materiais necessários à execução da tarefa, eliminando os que não são necessários;

Seiton (Senso de Organização): Localização dos elementos utilizados para que estejam sempre ao alcance do utilizador para que este não tenha que fazer movimentações desnecessárias;

Seiso (Senso de Limpeza): Arrumar sempre o material no local correspondente e manter o local de trabalho limpo;

Seiketsu (Senso de Padronização): Padronizar os trabalhos e organização de todos os espaços;

Shitsuke (Senso de autodisciplina): manter sempre as 4 princípios impostos anteriormente, garantindo assim que não se volta ao estado anterior (Deffense, 2010).

2.4.5.6 Total productive maintenance (TPM)

Um dos principais problemas na construção é a gestão e manutenção de equipamentos e actividades. O *TPM* estipula ordens de manutenção e monitorização para evitar problemas, diminuindo assim a probabilidade de surgimento de avarias no equipamento e problemas nas actividades. O objectivo é que o próprio manobrador do equipamento proceda à sua manutenção, isto é, passar da reparação à prevenção (Abdulmaleck e Rajgopal, 2007).

2.4.5.7 Produção celular

Consiste em agrupar em “células” equipamentos e áreas de trabalho com semelhanças no seu processo de realização, originando uma polivalência dos trabalhadores e um fluxo contínuo de trabalho (Abdulmaleck e Rajgopal, 2007).

2.4.6 Potencialidades de desenvolvimento no futuro

Bertelsen e Koskela (2002), baseado na teoria de Koskela (2000) – Transformação Fluxo e Valor (TFV) e na gestão de projectos, afirmam que a construção é um sistema complexo e dinâmico, baseado na cooperação entre intervenientes e na aprendizagem.

Todo o pensamento Lean está baseado no mundo previsível e ordenado da manufactura, sendo que todos os estudos recentes têm uma contribuição para a adaptação desta filosofia à construção, desenvolvendo assim a *LC*.

LC pode ser definida como uma forma de organizar a produção minimizando o desperdício de materiais, o tempo e esforço, maximizando o valor do produto final. Isto será alcançado através de uma melhoria sistemática de contratos, de processos de construção, dos métodos de selecção de fornecimento, confiança no trabalho e nas operações de estaleiro.

Devido a todas estas implicações na construção a *LC* tem de se assumir como uma nova metodologia para construção civil (Abdelhamido e Salem, 2005).

2.4.7 Comparação entre gestão convencional e *Lean Construction*

A principal diferença entre o modo de aplicação do *Lean*, na construção e na manufactura, é o modo como o trabalho é entregue, na construção é libertado por um acto administrativo – o planeamento, na manufactura segue uma linha de montagem. Em primeiro lugar o *Lean* deve ser aplicado no planeamento, sendo que a logística também deve ser considerada (Howell, 1999).

Na filosofia *LC* o controlo é centrado ao nível da produção, enquanto nos sistemas típicos de gestão da qualidade são controlados por gestores que estão afastados das frentes de trabalho. Deste modo, com o uso da *LC* é mais rápida e mais ágil a tomada de decisões, originando organizações que tomam melhorias menos burocráticas e mais dinâmicas originando melhor qualidade (Marosszeky *et al.*, 2002).

2.5 Obras rodoviárias

2.5.1 Considerações gerais

Nos últimos anos as obras rodoviárias cresceram em Portugal cerca de 33% (Banco Portugal, 2009) mas, cada vez mais, a concorrência de empresas neste ramo é maior, originando margens de lucro pequenas; por conseguinte, as empresas procuram uma ferramenta de gestão da produção, em que o sistema proporcione um produto final livre de defeitos e com nada em stock (Farrar *et al.*, 2004).

Segundo Vieira (2004) os principais problemas associados à direcção de obra são:

- Organização geral da estrutura produtiva e atribuição de competencias e responsabilidades aos diversos intervenientes da equipa de obra;
- Enumeração das principais preocupações com a gestão produtiva de obras de construção de estradas.

Segundo o mesmo autor, a organização de trabalho tem em vista produzir o maximo com os menores recursos possiveis e do melhor modo.

No caso de estudo Farrar *et al.* (2004) definiram as seguintes directrizes, que provou serem mais eficazes para a aplicação das filosofias *Lean* à construção de obras rodoviárias:

- Seleccionar todas as actividades que não agregam valor;
- Definir as durações das tarefas;
- Produzir os resultados da simulação;
- Classificar os candidatos da simulação em ordem de importância para o modelo de simulação, concentrando as melhorias nos processos que têm maior impacto nas actividades;
- Reduções de actividade que não acrescentem valor, começando com a actividade que tem maior potencial de melhoria;

- Procurar soluções práticas para melhorar os processos de entrega de material, um caso pode ser a aplicação do *JIT*;
- Execução da simulação;
- Encontrar soluções para melhorar as actividades de produção;
- Introduzir buffers para fazer frente à variabilidade dos processos, reduzindo ao máximo os efeitos das variações nos processos.

As vias de comunicação rodoviária são um meio de transporte muito utilizado no transporte de pessoas e mercadorias, por conseguinte, é um ramo da construção que está em desenvolvimento a nível de novas infra-estruturas ou requalificação das existentes.

2.5.2 Metodologia de construção

Neste capítulo procede-se a uma breve descrição dos processos de construção de estradas, baseada nas informações do caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009) e Branco *et al.* (2008).

Das várias actividades de obras rodoviárias, serão abordadas as actividades de terraplanagem, drenagem e pavimentação.

2.5.2.1 Terraplanagem

2.5.2.1.1 Limpeza, desmatção e decapagem

As superfícies que vão ser aterradas ou escavadas são desmatadas e são removidos todos os tipos de construções, pedras e raízes das árvores.

Todo o terreno à superfície que seja constituído por terra arável ou vegetal, tem que ser decapado.

Todo este processo tem que respeitar o que se encontra especificado no caderno de encargos.

2.5.2.1.2 Saneamento do terreno

Todo o terreno de má qualidade tem que ser removido, sendo que este trabalho realiza-se na fundação do aterro ou à cota de colocação do leito de pavimento em escavação.

Todo este processo tem que respeitar o que se encontra especificado no caderno de encargos.

2.5.2.1.3 Protecção da vegetação existente

Toda a vegetação e arvoredos que não sejam removidos para a passagem da estrada devem ser preservados. Todo o tipo de infra-estruturas que tenham de ser montadas para a construção da estrada não podem originar a remoção ou danificação de mais vegetação.

2.5.2.1.4 Escavação

Os materiais escavados são aqueles que necessitam de ser removidos através de meios mecânicos ou com explosivos.

Os equipamentos necessários são giratórias, camiões basculantes, pá carregadora e, caso necessário, explosivos.

Todo o tipo de escavações são executadas de acordo com definido no caderno de encargos.

2.5.2.1.5 Aterros

A preparação da base onde assentam os aterros, deve ser executada de forma cuidadosa e de acordo com o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009). Sempre que seja inclinada deve ser executada em degraus, tendo em atenção à compactação com os meios adequados conforme o estipulado no caderno de encargos.

Os materiais aterrados têm de possuir iguais características, obrigando uma adequada gestão dos materiais.

Os equipamentos necessários são giratórias, camiões basculantes, pá carregadora, motoniveladora e cilindros.

Todo o tipo de aterros é executado de acordo com o estipulado no caderno de encargos, dependendo do tipo de material onde se vai aterrar, do material com que se aterra e das características do local.

2.5.2.1.6 Execução do leito de pavimento

A última camada da terraplanagem que confere e uniformiza as condições do suporte é definida como leito do pavimento. O leito de pavimento pode ser constituído por uma ou mais camadas.

Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), os objectivos a curto prazo do leito de pavimento são: nivelar a plataforma, garantir capacidade de suporte, proteger os solos da plataforma face às intempéries e garantir boas condições de trabalho para os veículos de colocação da primeira camada do pavimento.

O objectivo principal a longo prazo é a manutenção do suporte da fundação, independentemente das flutuações do estado hídrico dos solos ocorrentes ao nível da plataforma.

Segundo Branco *et al.* (2008) o material que mais é utilizado no leito do pavimento em Portugal é o ABGE (Agregado Britado de Granulometria Extensa).

Os equipamentos necessários à aplicação do leito do pavimento são motoniveladoras, camiões basculantes, pá carregadora e cilindro.

Todo o tipo de trabalhos para execução do leito do pavimento, são executadas de acordo com o definido no caderno de encargos e em projecto.

2.5.2.2 Drenagem

Segundo Vieira (2004) um dos maiores inimigo na conservação de uma estrada é a água. Desde modo, a drenagem da água tem de ser bem estudada de modo a que o seu desvio conduza a soluções eficazes.

Todo os meios de drenagem a serem executados, são em função do que é definido em projecto e tem de respeitar as características mencionadas no caderno de encargos.

2.5.2.2.1 Escavação para passagem de águas superficiais

É o processo de escavação para garantir a drenagem das águas superficiais, podendo ser executados desvios de linhas de água ou valas a montante e jusante de uma passagem hidráulica.

2.5.2.2.2 Passagens hidráulicas

As passagens hidráulicas são realizadas através de tubos, que são instalados, em valas ou sobre fundação executada sobre o terreno natural.

Todo o tipo de trabalho e o modo como são executadas as passagens hidráulicas é realizado de acordo com o mencionado no caderno de encargos e em projecto.

2.5.2.2.3 Orgãos de drenagem longitudinal – Valetas e valas

A drenagem longitudinal é executada através de valetas e valas.

Os trabalhos de realização das valetas e valas são consituídos por abertura do terreno e revestimento do mesmo.

2.5.2.2.4 Orgãos complementares de drenagem

Segundo o caderno de encargos das estradas de Portugal (2009), as caixas de visitas, sumidouros, sargetas e caixas de limpeza, são executados em betão pré-fabricado ou moldado em obra e de acordo com o estipulado no caderno de encargos da obra e em projecto.

2.5.2.3 Pavimentação - Camadas não ligadas

Esta secção menciona as camadas de sub-base e base constituída por materiais granulares britados ou solos seleccionados.

Antes da realização da sub-base ou base, tem de ser verificado o nivelamento e a capacidade de suporte do leito do pavimento e todos os critérios de aceitação e rejeição definidos no caderno de encargos.

2.5.2.3.1 Camadas em solos

Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), para a escolha dos solos a serem utilizados, tem que ser apresentado à fiscalização um estudo laboratorial dos solos seleccionados e dos locais de extracção.

A exploração tem que ser executada de modo a manter a homogeneidade dos materiais, drenagem natural das águas, evitar armazenamento entre a extracção e a colocação em obra, transporte executado em camiões basculantes e o local de extracção modelado de acordo com o projecto de integração paisagístico.

A colocação em obra deve ser feita com recurso a uma motoniveladora e a compactação executada com cilindros vibradores. Todo este processo, tem que ser executada e verificado de acordo com as especificações definidas no caderno de encargos e em projecto.

2.5.2.3.2 Camadas em materiais granulares britados

À semelhança do que ocorre nas camadas em solos, também a utilização de materiais granulares tem que ser apresentado à fiscalização um estudo laboratorial das características mencionadas no caderno de encargos, nomeadamente conteúdo máximo e mínimo de finos e curva granulométrica. Ao material utilizado têm que ser executados os ensaios mencionados no caderno de encargos; sendo que, pode ser requerido a realização de trechos experimentais para averiguar o grau de compactação ideal e as características da superfície.

Todo o equipamento deve ser mantido e regulado ao longo do processo de produção.

Os agregados reciclados possuem uma grande variabilidade o que condiciona a sua utilização, sendo que a mistura deve ser executada de modo a garantir a homogeneidade da mesma e cumprindo sempre os requisitos do caderno de encargos. Os materiais têm que ser guardados de acordo com a origem dos mesmos e dos seus constituintes, nunca misturando materiais diferentes.

O transporte destes materiais é feito através de camiões basculantes; depois dos camiões despejarem, o material é espalhado com motoniveladoras; de seguida, é verificado e corrigido o teor de água; e por fim compactado com cilindros vibradores.

Antes da execução da próxima camada, são executados todos os ensaios mencionados no caderno de encargos e só quando tudo se encontra como pretendido é que prosseguem os trabalhos.

2.5.2.4 Pavimentação - Camadas de misturas betuminosas a quente

Nesta secção, serão abordadas as misturas betuminosas a quente, para a execução de camadas de base, ligação, regularização e desgaste.

A colocação da mistura betuminosa, apenas deve começar após a verificação das características da superfície subjacente, conforme o mencionado no caderno de encargos e os fabricantes das misturas betuminosas possuírem declarações de conformidade CE.

Tem que ser apresentado à fiscalização um relatório com a metodologia a utilizar e todos os ensaios à mistura betuminosa respeitarem os valores referidos no caderno de encargos (caderno de encargos das Estradas de Portugal, 2009).

Os constituintes da mistura betuminosa têm que respeitar todos os requisitos mencionados no caderno de encargos, desancando-se:

- Ligante – Verificação da percentagem de betume utilizado na mistura;
- Agregados – Se os agregados possuem os requisitos mencionados para os ensaios laboratoriais;
- *Fíler* – Verificação da relação volumétrica *fíler* / betume;
- Mistura betuminosa – depois da mistura compactada são retirados provetes e realizados os ensaios para medição da baridade e das restantes características mencionadas no caderno de encargos.

2.5.2.4.1 Central de produção de misturas betuminosas

A central de produção possui um papel importantíssimo na realização de uma mistura adequada, na medida que é, através da mesma, que é feita a mistura de cada um dos constituintes na quantidade correcta. A central tem que possuir todas as características mencionadas no caderno de encargos e manter o seu correcto funcionamento ao longo de todo o processo de fabrico.

Após a calibração e ajuste do funcionamento da central, são executados trechos experimentais a fim de se verificar (caderno de encargos das Estradas de Portugal, 2009):

- As características da mistura;
- As condições reais de espalhamento e transporte;
- Modo de compactação (ordem pela qual, cada um dos cilindros compacta a mistura betuminosa);
- Realização de carotes, para verificar a compactação e porosidade das misturas;
- Verificação da regularidade do acabamento e a espessura da camada.

Tem de ser executado um controlo de toda a produção na central, de modo a garantir um produto final com as características mencionadas no caderno de encargos.

As misturas betuminosas a quente, são executadas por centrais de produção contínuas e descontínuas. Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal, as centrais descontínuas possuem: Um secador e aquecedor de agregados, seleccionador de agregados com malhas

convenientemente escolhidas, três ou mais silos para armazenamento da mistura, um silo para *fíler* em local seco, dispositivo de pesagem, doseador do betume na mistura, um misturador e uma ou duas caldeiras para aquecimento do betume.

As centrais contínuas possuem os silos para armazenar os materiais, secador, peneiros, misturador, ligados entre si por transportadores de correia e alcatruzes; o betume por sua vez, também é aquecido em caldeiras.

No capítulo 4.5.1. será feita uma descrição do modo de funcionamento de cada uma destas centrais.

2.5.2.4.2 Processo de transporte, espalhamento e compactação

O controlo da qualidade do produto tem que ser executado regularmente e consoante o mencionado no caderno de encargos.

O transporte da mistura betuminosa da central para a frente de obra é executado através de uma frota de camiões basculantes com cobertura em lona e dimensionada de acordo com a distância à obra e quantidades a aplicar. O equipamento de espalhamento é constituído por uma pavimentadora de rastos, tendo esta capacidade de repartir uniformemente as misturas betuminosas. A alimentação é realizada na tremonha sobre a qual descarrega o camião. A mistura é transportada por cintas até à parte traseira. Quando o material se encontra na parte traseira da máquina é distribuído de uma forma uniforme e homogénea em toda a largura da pavimentação, através de uns senfins. Depois a mistura passa sob a mesa vibradora que regulariza a superfície e executa uma pré-compactação. Nas zonas em que a pavimentadora não consegue ter acesso, o espalhamento deverá ser executado através de pás e rodos.

O espalhamento tem que ser executado com tempo seco e a temperaturas superiores aos 10 °C.

No processo de espalhamento tem que se assegurar a realização de todos os procedimentos mencionados no caderno de encargos, sendo que se deve ter especial atenção a: material não transbordar da tremonha, verificação dos componentes de nivelamento, arranque da máquina em junta transversal, no arranque a mesa estar apoiada em calços de madeira, no fim de cada pavimentação a pavimentadora deve ser completamente limpa e retirada do local.

O tipo de cilindros a utilizar no processo de compactação e o modo de compactação, é o indicado no caderno de encargos; sendo que maioritariamente o tipo de cilindros é de rolos de rasto liso e de pneus. Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), no processo de compactação deverá ter-se especial atenção a: compactação das juntas, superfície acabada bem desempenada, o trecho de compactação é definido no troço experimental e o processo de compactação é iniciado assim que os cilindros não deixem deformações exageradas na mistura.

Sempre que são executados troços com paragens na pavimentação, têm que ser executadas juntas transversais a partir das quais se inicia a nova pavimentação.

Os diferentes tipos de misturas para a camada de base, camada de ligação, camada de regularização e camada de desgaste a serem utilizados, são os definidos em projecto e devem obedecer a todas as características mencionadas no caderno de encargos.

Todas as especificações e critérios de aceitação, são os mencionados no caderno de encargos da obra e têm que ser respeitados. As principais características a verificar, a nível das misturas betuminosas a quente, ao longo da realização da obra são:

- Características gerais da mistura;
- Espessura das camadas;
- Porosidade;
- Regularidade superficial;
- Aderência entre camadas;
- Macrotextura;
- Coeficiente de atrito.

Após a conclusão dos trabalhos de pavimentação, será executada uma caracterização final do pavimento, em que segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), são verificadas as seguintes características:

- Índice de irregularidade longitudinal;
- Macrotextura;
- Coeficiente de atrito;
- Avaliação da capacidade estrutural.

2.5.2.5 Pavimentação - Camadas de misturas betuminosas a frio

A colocação da mistura betuminosa, apenas deve começar, após a verificação das características da superfície subjacente, conforme o mencionado no caderno de encargos e os fabricantes das mesmas possuírem declarações de conformidade CE.

Neste capítulo serão abordados dois tipos de misturas, os agregados britados de granulometria extensa tratado com emulsão betuminosa e misturas betuminosas abertas a frio.

2.5.2.5.1 Agregados britados tratado com emulsão betuminosa

O ligante e os agregados a utilizar, deverá ser de acordo com o especificado em projecto e possuir as características mencionadas no caderno de encargos.

A mistura deste tipo de agregados é executada em centrais próprias para este tipo de materiais. A central deverá satisfazer as seguintes características: As tremonhas de dosagem dos agregados têm que possuir dispositivos individuais para ajustar o caudal de cada uma das fracções granulométricas, sistema de regulação do tempo de mistura, o sistema de armazenamento e alimentação de ligante deverá possibilitar boas condições de circulação e boa dispersão dos agregados.

São executados ensaios periódicos às misturas provenientes da central, para se verificar se a sua constituição é a mencionada no caderno de encargos.

O transporte, descarga e espalhamento têm que ser dimensionados e executados de forma a evitar a segregação. A compactação é executada através da utilização de cilindros de rolos, pneus ou mistos, devendo estes expulsar a maior quantidade possível de água e assegurar uma compactação uniforme.

Sempre que exista a suspensão de trabalhos por um período superior a um dia, têm que ser executadas juntas verticais para continuação do trabalho à posteriori.

2.5.2.5.2 Misturas betuminosas abertas a frio

Este tipo de misturas é utilizado para as camadas de base, regularização e ligação.

O tipo de ligante e os agregados a utilizar, deverá estar de acordo com o mencionado no caderno de encargos. A mistura deste tipo de materiais é executada em centrais adequadas para esta mistura, tendo que possuir bicos pulverizadores da emulsão sobre o agregado.

Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), a central deverá satisfazer as seguintes características: As tremonhas individuais de dosagem dos agregados possuírem dispositivos para ajustar o caudal de cada fracção granulométrica, sincronização do sistema de alimentação de agregados ao misturador com os mecanismos de dosagem da emulsão, sistema para regulação do tempo de mistura. Para a utilização de aditivos a central tem que possuir um sistema de dosagem adequado.

Segundo Branco *et al.* (2008), a colocação e espalhamento em obra deste tipo de mistura é executado com o mesmo equipamento das misturas betuminosas a quente; sendo que não é necessária a preocupação com a temperatura, a compactação é executada através de cilindros de rasto liso.

Todas as verificações e critérios de aceitação referenciados no caderno de encargos têm que ser cumpridos, tendo em especial atenção à limitação da velocidade pelo menos durante a primeira semana no troço pavimentado devido à vulnerabilidade da mistura.

2.5.2.6 Tratamentos superficiais

Os materiais utilizados em tratamentos superficiais maioritariamente são aplicados a frio, utilizando por vezes emulsões betuminosas com betume modificado. Existem três tipos de tratamentos superficiais: as regas só com ligante, regas seguido de espalhamento de gravilha e misturas betuminosas com camadas delgadas.

Este tipo de tratamento, apenas é utilizado após a verificação das características da superfície subjacente e dos materiais utilizados segundo o mencionado no caderno de encargos.

As funções deste tipo de tratamento são a de impermeabilização e melhorar a rugosidade da superfície do pavimento (Branco *et al.*, 2008).

Os tipos de tratamentos mais utilizados são: Microaglomerados betuminosos a frio e o revestimento superficial betuminoso.

2.5.2.6.1 Microaglomerados betuminosos a frio

O tipo de ligante e agregados a utilizar, tem que ser o mencionado no caderno de encargos.

Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), para a produção desta mistura é utilizada uma central móvel contínua autopropulsora, constituída por: Tremonhas para agregados, tremonha para *fíler*, depósitos diferenciados para água, emulsão betuminosa e aditivo, dispositivos adequados que assegurem uma correcta e sincronizada dosagem, dispositivos de transporte dos componentes e uma misturadora que envie directamente para a grade de espalhamento.

O espalhamento é executado através de uma grade que possui um senfim que espalha o material na largura pretendida.

Nunca deve ser executado espalhamento sempre que as temperaturas sejam inferiores a 5 °C ou risco de ocorrência de precipitação.

No final do espalhamento tem de ser executada uma junta que fique vertical e transversal ao eixo da via.

Todas as verificações e critérios de aceitação referenciados no caderno de encargos, têm que ser cumpridos.

2.5.2.6.2 Revestimento superficial betuminoso

O tipo de revestimento utilizado depende do estado da conservação da superfície do pavimento ou da plataforma, sendo utilizados maioritariamente os três tipos:

- Revestimento superficial simples – Serve para melhorar as condições de aderência (resistência ao deslizamento), é utilizado em volumes de tráfego baixos. Após aplicada a emulsão betuminosa, espalha-se de seguida uma camada de agregado;
- Revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado – Utilizado em superfícies com alguma heterogeneidade, em que é aplicado agregado, de seguida a emulsão betuminosa e no final uma nova camada de agregado;
- Revestimento superficial duplo – utilizado em superfícies constituídas por materiais tratadas com ligantes betuminosos ou hidráulicos apresentando razoáveis condições de conservação, consiste na aplicação sucessiva de ligante e agregado.

O ligante e agregado utilizado são os especificados no caderno de encargos.

O espalhamento do ligante betuminoso é executado através de uma cisterna de rega autopropulsionada que possui uma barra de espalhamento com pulverizadores; para o espalhamento do agregado utiliza-se auto-gravilhadores mecânicos acoplados ao camião basculante; e para a compactação utiliza-se cilindros de pneus.

No final do processo deve ser limpo o excesso de gravilha e a circulação ser condicionada por um período de tempo devido à projecção de gravilha.

Em todo o processo tem que se respeitar o modo de elaboração mencionados no caderno de encargos.

2.5.2.7 Camada de mistura tratada com ligantes hidráulicos

Nesta secção serão abordados os métodos construtivos para a execução de camadas em solos tratados com ligantes hidráulicos com características de sub-base, base e regularização no enchimento de bermas.

2.5.2.7.1 Camadas de solos tratados

Utiliza-se em solos tratados com ligantes hidráulicos (solo-cimento ou solo-cal) para a execução de camadas de sub-base.

Segundo o caderno de encargos das estradas de Portugal (2009), tem de ser executado um estudo ao solo em que indique: Características e proveniência do solo, características e percentagem do ligante, o teor de água, a densidade mínima a obter e a percentagem de aditivos. Todos os valores podem sofrer alterações, mediante do que se encontra mencionado no caderno de encargos e a fiscalização autorizar.

O fabrico da mistura será realizado numa central apropriada provida de tremonhas doseadoras, que permitam dosear, em separado, o solo desagregado com a humidade adequada, o ligante e a água.

O transporte é executado por camiões basculante, mobilizando o menor tempo possível, e nunca superior a uma hora desde a produção até ao início da compactação, sendo que no caso da temperatura muito elevada esse tempo deve diminuir. As temperaturas para colocação têm que ser superiores a 5 °C e nunca aplicado em condições de chuva.

A compactação é executada através de cilindros vibradores e após a mesma tem de ser aplicado um tratamento betuminoso de cura.

As juntas devem ser executadas sempre que o período de paragem seja superior a uma hora.

Todos os critérios de aceitação e realização têm de ser cumpridos de acordo com o estipulado no caderno de encargos.

2.5.2.7.2 Camadas de agregados britados tratados com ligantes hidráulicos

Utilizado para a execução de camadas com características de sub-base, base e regularização no enchimento de bermas com agregados britados com ligantes hidráulicos. A mistura apenas é colocada após a verificação das características da camada subjacente.

Os agregados e os ligantes utilizados têm que ser os mencionados no caderno de encargos.

O fabrico da mistura será realizado numa central apropriada e a sua aplicação em obra tem que ser feita num período nunca superior a uma hora entre a mistura e o início da compactação; as temperaturas têm que ser superiores a 5 °C; ter especial atenção ao caso das temperaturas serem superiores aos 30 °C.

O espalhamento é realizado através de uma pavimentadora e a compactação através de um cilindro vibrador e um cilindro de pneus.

São executadas juntas, sempre que o período de manuseamento do material é excedido; tendo que ser cumprido os períodos de tempo e os critérios de aceitação mencionados no caderno de encargos.

Num período nunca superior a 4 horas após a compactação, tem que ser aplicado um tratamento betuminoso de cura.

2.5.2.8 Camadas de betão hidráulico

Execução de camadas de desgaste em betão e camadas com características de sub-base, base e regularização no enchimento de bermas em betão pobre.

Para se proceder à aplicação desta camada a camada subjacente tem que se encontrar de acordo com o mencionado no caderno de encargos, bem como os materiais que vão ser utilizados.

O fabrico da mistura será realizado numa central apropriada e garantindo com a precisão adequada, registo do teor de água nas areias e conversão da água para a amassadura, bem como da quantidade do material em cada amassadura.

O transporte é realizado em camiões basculantes e o tempo deve ser o mínimo possível para evitar a perda de água; o espalhamento é executado através de uma pavimentadora de cofragens deslizantes que espalha, compacta, nivela o betão e coloca também varões de transição de carga.

Desde a fabricação do betão até ao início do processo de cura, não pode ser ultrapassado um período de uma hora e meia; e se existirem paragens superiores a meia hora, tem que se realizar juntas transversais.

A colocação em obra é condicionada por fortes períodos de chuva em que poderá ser obrigatória a colocação de um toldo sobre as máquinas de colocação do betão, dependendo do mencionado no caderno de encargos.

Todo o tipo de camadas devem ser executadas e verificadas de acordo com as características impostas no caderno de encargos, sendo de realçar: características gerais da mistura, espessura, regularidade da superfície, macrotextura, coeficiente de atrito e resistência.

2.5.2.9 Trabalhos específicos dos pavimentos rígidos

2.5.2.9.1 Acabamentos de superfície

Os acabamentos de superfície podem ser executados usando as seguintes metodologias: ranhuragem, escovagem, denudagem química e incrustação de cavilhas.

2.5.2.9.2 Execução de juntas

As juntas transversais ou longitudinais devem ser executadas com serras de corte ou por outros meios definidos no caderno de encargos, sendo que o tempo decorrido entre o final da pavimentação e realização da junta não pode ser superior a 24 horas.

2.5.2.9.3 Selagem das juntas

Os tipos de selantes a utilizar são: selantes aplicados a quente, selantes aplicados a frio e perfis de selagem pré-moldados.

Antes da aplicação do selante, a superfície é limpa com escova mecânica e ar comprimido, consoante as indicações do caderno de encargos.

2.5.2.9.4 Betão poroso na interface entre a laje e a berma

O betão poroso a aplicar, serve como elemento de drenagem interna e as dimensões são as mencionadas em projecto.

2.5.2.10 Regas betuminosas de impregnação, colagem ou cura

2.5.2.10.1 Rega de impregnação betuminosa

Rega de impregnação é a aplicação de uma emulsão betuminosa sobre uma base granular, sobre a qual será colocada uma camada de mistura betuminosa.

O aparelho de rega possui uma caldeira e um mecanismo de rega que distribui uniformemente a rega de impregnação; a superfície que é impregnada têm de estar completamente limpa e livre de materiais soltos.

O modo de realização da rega e as características da mesma, têm que estar de acordo com o mencionado no caderno de encargos.

2.5.2.10.2 Rega de colagem

Segundo o caderno de encargos das Estradas de Portugal (2009), a rega de colagem consiste na aplicação de uma emulsão betuminosa sobre: camadas tratadas com ligantes betuminosos, camadas em misturas betuminosas ou camadas/superfícies de betão.

Antes da execução da rega a superfície tem que se encontrar completamente limpa, seca, a temperatura ambiente ser superior a 5 °C e não se pode iniciar o espalhamento se existir possibilidade de ocorrência de aguaceiros.

O modo de realização da rega e as características da mesma, têm que estar de acordo com o mencionado no caderno de encargos.

2.5.2.10.3 Rega de cura

Serve para garantir a impermeabilização das camadas de ligante hidráulico através da aplicação de uma película de emulsão betuminosa.

A rega apenas é executada após a limpeza da superfície através de escova mecânica ou jacto de ar, obedecendo às especificações e critérios mencionados no caderno de encargos.

Os critérios de aceitação têm que estar de acordo com o mencionado no caderno de encargos.

2.5.2.11 Trabalhos especiais de pavimentação

2.5.2.11.1 Fresagem

Nesta secção aborda-se a execução de fresagens de misturas betuminosas conforme o definido em projecto.

O processo de fresagem está maioritariamente associado a zonas de patologias ou para promover a ligação entre trechos.

O equipamento de fresagem é uma fresadora em que a largura da mesma vai depender da largura a ser fresada, esta fresadora tem que ser dotada de um sistema de nivelamento automático e os fresados são encaminhados directamente para dentro de um camião através de um tapete rotativo.

Após a fresagem, os restos dos fresados que ficam depositados no chão são limpos por uma escova mecânica e através de ar comprimido.

Os critérios de aceitação têm que estar de acordo com o mencionado no caderno de encargos.

2.5.2.11.2 Escarificação e recompactação de pavimentos existentes

A desagregação do pavimento é executada através de escarificação. A compactação serve para homogeneização da plataforma conferindo as características de acordo com o caderno de encargos.

2.5.2.11.3 Retardadores de fissuras em pavimentos degradados

Os tipos de mecanismos que podem ser utilizados para retardar a propagação de fissuras são:

- Colocação de misturas betuminosas;
- *Slurry seal*;
- Microaglomerados a frio;
- Revestimentos superficiais;
- Geotêxtil impregnado;
- Argamassas com betumes modificados;
- Produtos de selagem a quente de fissuras.

Todos estes processos têm de ser realizados de acordo com o mencionado no caderno de encargos.

2.5.2.11.4 Reposição de pavimentos em locais de abertura de valas

Após a abertura da vala e colocação no interior da mesma dos constituintes pretendidos, procede-se à reposição do pavimento consoante o que seja definido no caderno de encargos.

2.5.2.11.5 Pavimentação de passeios, separadores ou ilhas direccionais

Este tipo de estruturas é executado em betonilha, lajetas, blocos de betão ou em calçada, consoante o definido em projecto e especificado no caderno de encargos.

3 Metodologia de avaliação e descrição do caso de estudo

3.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica foi executada com base em documentos de bibliotecas *on-line*, em outros documentos *on-line*, no *International Group for Lean Construction (IGLC)*, no *Lean Construction Institute (LCI)*, no caderno de encargos das Estradas de Portugal e em bibliotecas físicas.

A bibliografia consultada é maioritariamente de artigos científicos e publicações (ISI).

Esta revisão bibliográfica incidiu sobre o conceito de *Lean thinking*, *Lean production*, *Lean construction* e obras rodoviárias. Abordou-se a história do *Lean production*, a criação da *Lean construction* e as vantagens e dificuldades da sua aplicação. O objectivo desta revisão bibliográfica, é a criação de uma base de conhecimento fundamentada e coerente, para se compreender as ferramentas a utilizar no modelo que se pretende implementar.

3.2 Definição e caracterização dos Casos de estudo

Procurou-se empresas de obras rodoviárias que tivessem a disponibilidade e interesse no estudo dos seus processos construtivos e na implementação de um modelo *Lean* no seu processo construtivo.

A caracterização do funcionamento das empresas foi realizada através de visita às obras, análise documental e diálogo com os intervenientes no processo. Tendo sempre como objectivo a análise do estado actual da empresa, segundo os seguintes parâmetros:

- Levantamento dos dados para o caso de estudo;
- Identificação das actividades e sua metodologia;
- Equipamento, mão-de-obra e materiais utilizados nas actividades;
- Modo de planeamento e de controlo;

No período de 6 de Novembro de 2010 a 23 de Dezembro de 2010 foram realizadas visitas a várias obras rodoviárias de diferentes empresas, sendo as obras respectivamente:

- Repavimentação e alargamento do km 08+500 até ao Km 19+100 da auto-estrada A8 nos dois sentidos;
- Repavimentação e alargamento do Km 82+000 ao Km 104+000 da auto-estrada A2 nos dois sentidos;
- Repavimentação do IC 20;
- Repavimentação e construção de um troço junto à “Flor da Mata” na estrada nacional 378;
- Repavimentação e alargamento da estrada nacional 377 entre Monte de Caparica e Charneca de Caparica;
- Construção da estrada N10-1.

A obra, onde foram executadas as propostas de melhoria, no período de 3 de Janeiro de 2011 a 26 de Janeiro de 2011, foi a obra de construção da estrada N10-1. A escolha desta obra, deve-se à fase de construção em que se encontrava, conseguindo observar-se todas as actividades definidas no período de tempo necessário.

A obra em que foi realizado o caso de estudo foi escolhida, porque foi considerada representativa das práticas de produção observadas no conjunto das obras analisadas.

Sendo o objectivo da filosofia *Lean* reduzir desperdícios e custos, estamos perante técnicas de reestruturação e reformulação de procedimentos com esse objectivo. No período em que decorreu esta dissertação, a obra do caso de estudo permitiu analisar os procedimentos mais relevantes para a obtenção desse objectivo. Nesse sentido, e por uma questão de manter a representatividade do caso de estudo, os processos foram reformulados numa perspectiva *Lean*, mais do que numa perspectiva técnica.

A escolha do tipo de actividades que se analisou, foi condicionada pelo tipo de actividades que se encontravam a ser elaboradas nas obras em causa e pelo valor económico que cada uma representa.

Serão apenas abordadas, as actividades que estavam a ser realizadas no período de tempo em análise, da obra em causa. As restantes actividades não são estudadas na presente dissertação.

Os intervenientes das empresas que contribuíram para a realização do presente trabalho foram, em alguns casos, de toda a hierarquia da empresa, desde o Director Geral ao Servente. É de realçar o contributo dos Engenheiros de obra e dos Encarregados das frentes de trabalho.

Não é possível mencionar o nome das empresas de construção de estradas, devido à obrigatoriedade de garantir a total confidencialidade das mesmas.

3.3 Metodologia de recolha de dados

A recolha de dados e informação foi elaborada através da observação directa, diálogo e análise documental.

3.3.1 Observação directa

Foi feita uma observação directa de toda a obra, para se analisar os procedimentos executados e as práticas correntes a nível de organização, maquinaria utilizada, mão-de-obra e o espaço de trabalho.

3.3.2 Diálogo

Os diálogos foram realizados com os intervenientes nos processos, para obter informações sobre os modos de procedimento e a sua perspectiva da realização dos mesmos. Os executantes, ao serem parte integrante no processo, indicam melhorias que na sua perspectiva optimizariam o

funcionamento. A realização destes diálogos, foi executada no local de trabalho e maioritariamente em paragens dos trabalhadores na realização das actividades.

3.3.3 Análise documental

Serviu para complementar as informações obtidas, através da observação directa e através dos diálogos. Foram disponibilizados documentos por parte da empresa, para consulta de informações que contribuíssem para a realização do estudo.

3.4 Definição do modelo

Para este estudo, foram analisadas as ferramentas *Lean* (como mencionado anteriormente) e apenas serão usadas as ferramentas que melhor se aplicam a estes casos. Este modelo foi escolhido, em função da metodologia que se pretendia utilizar na aplicação dos princípios *Lean*; tendo como objectivo eliminar desperdícios e consequentemente diminuir os custos. Foi feita uma análise deste tipo de obras, para se conseguir compreender qual seria a melhor metodologia a implementar.

3.5 Modo de implementação

O modo de implementação do modelo proposto, foi executado através de uma análise em obra das actividades e do modo como são realizadas. De seguida, será feita uma identificação e interpretação dos princípios *Lean* a aplicar em cada actividade. Por fim, serão aplicadas e / ou analisadas as vantagens que os princípios *Lean* podem originar na execução dos processos.

3.6 Análise dos resultados

Depois de implementadas e analisadas as modificações propostas através do modelo definido, avaliou-se a adequabilidade e vantagem da aplicação dos princípios *Lean* a obras rodoviárias. Esta análise foi feita através da comparação entre os desperdícios e o tempo de execução das tarefas, antes da aplicação do *Lean* e depois da sua aplicação.

Para obtenção dos resultados, procedeu-se em primeiro lugar à medição do rendimento das várias frentes de trabalho, dos desperdícios e os custos inerentes à realização desses trabalhos.

De seguida, implementaram-se os princípios *Lean* nas mesmas actividades e mediu-se novamente os rendimentos e os custos da realização das actividades.

A análise dos resultados, foi elaborada através da comparação dos rendimentos e custos das actividades, antes e depois da aplicação da filosofia *Lean*.

4 Proposta de modelo

4.1 Introdução

Neste capítulo, será apresentado um modelo para avaliar a aplicabilidade e benefícios que a *LC* pode originar numa obra rodoviária.

Na análise feita através de entrevistas e pelo que se pôde observar em obra, conclui-se que o modelo a ser idealizado teria por base o MFV. Foi escolhida esta metodologia para implementar *Lean*, porque é de fácil compreensão e aplicação, possibilitando a identificação de problemas e desperdícios.

Através do MFV consegue proceder-se à comparação do modo representativo (através das 6 obras analisadas) de realização das actividades antes e depois da implementação da filosofia *Lean*. Através deste modelo, para implementação da *Lean construction*, consegue proceder-se a modificações a nível de organização e gestão das actividades.

Abdulmalek e Rajgopal (2007) aplicaram o MFV a um caso de estudo, cuja metodologia definida por Rother e Shook (1998) é: (Figura 1)

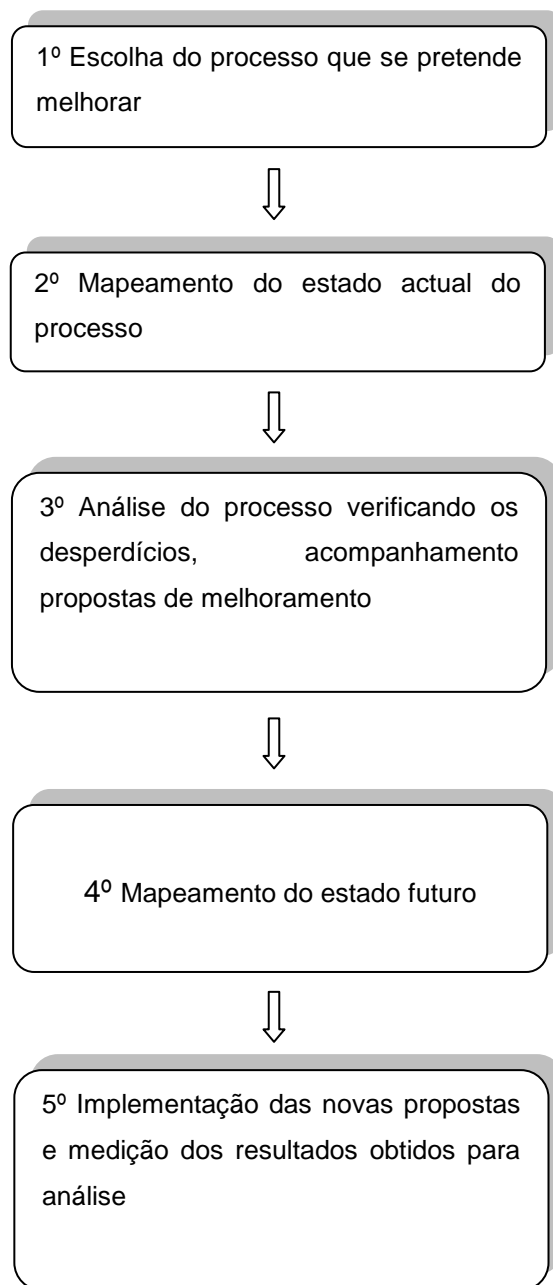


Figura 1 - Etapas do MFV

Alarcón e Calderón (2003), aplicaram esta metodologia em casos de estudos de diversas construções, conseguindo obter os resultados previamente estipulados.

O objectivo final do MFV é identificar todos os tipos de resíduos que não acrescentam valor e tomar medidas para tentar eliminá-los (Rother e Shook, 1998).

Todos os dados para o mapa do estado actual, foram recolhidos de acordo com a abordagem recomendada por Rother e Shook (1998), em que estes autores definiram os elementos e padronizações da MFV.

No anexo II encontra-se o mapeamento de fluxo de valor de todas as actividades analisadas.

4.2 Objectivos do modelo

Pretende com base nos conceitos *Lean*, alcançar-se os seguintes objectivos:

- Identificar, analisar e diminuir os desperdícios;
- Ligação entre os intervenientes no processo;
- Bom relacionamento com os fornecedores;
- Fluxo contínuo de materiais e tarefas;
- Frentes de trabalho organizadas;
- Planeamento muito rigoroso dos materiais;
- Criar uma aprendizagem contínua e consequentemente uma melhoria continua.

4.3 Escolha de processos que se pretendem melhorar

O primeiro passo é a escolha dos processos que se pretende melhorar.

Começou por observar-se todos os processos que se desenvolvem nas obras em causa. As actividades observadas e escolhidas devido a possuírem potencial de melhoria e serem comuns a todas as obras são: Produção de misturas betuminosas a quente (central), pavimentação de misturas betuminosas a quente (frente de obra), fresagem, colocação de lancis, construção de valetas e acabamentos de caixas de visita e sumidouros.

Foram escolhidas estas actividades por serem as que se encontravam em realização na obra que foi disponibilizada para o estudo em causa. Não se conseguiu obter outro tipo de pavimentações para se estudar, nem mais actividades de obras rodoviárias. A escolha das actividades foi condicionada pelo período de tempo que foi disponibilizado para a realização do presente trabalho.

As observações foram realizadas com o pensamento centrado na filosofia *Lean* para se conseguir identificar onde ocorrem desperdícios. As actividades de pavimentação de misturas betuminosas a quente e fresagem foram escolhidas porque são as actividades que mobilizam o maior encargo financeiro e maior volume de trabalho, as restantes actividades apresentam muitos desperdícios e o encargo financeiro também é significativo. Em cada actividade identificou-se as várias etapas, os intervenientes e a sua posição hierárquica.

4.4 Mapeamento do estado actual do processo

É elaborado um mapeamento do estado actual do processo através de uma observação e análise em obra do modo de funcionamento, dos desperdícios existentes e inibidores de fluxo contínuo de valor.

Este mapeamento deve ser realizado com o recurso a intervenientes no processo para obter informação actualizada do processo e seu fluxo de valor, identificando todas as etapas que existem na criação de valor.

Antes de se iniciar o processo de mapeamento é feita uma pequena apresentação a todos os intervenientes do processo sobre o pensamento *Lean* e o mapeamento de fluxo de valor, para que todos os intervenientes consigam compreender o que está a ser realizado.

Cada actividade será observada individualmente, analisando todos os intervenientes e a função que cada um desempenha.

De seguida será feito um mapeamento do estado actual das actividades que foram observadas (Quadro 2):

Quadro 2 - Mapeamento do estado actual

Actividade	Mapeamento da actividade
Produção de misturas betuminosas a quente (central)	Encomenda de matéria-prima; Entrega de matéria-prima; Depósito de matéria-prima no local de utilização; Aquecimento da central; Transporte com pá carregadora para a tremonha; Mistura de todos os materiais pela central; Ensaio de laboratório à mistura.
Pavimentação de misturas betuminosas a quente (frente de obra)	Limpeza da superfície a pavimentar; Aquecimento da caldeira de rega de impregnação ou colagem; Rega de impregnação ou rega de colagem; Transporte da mistura betuminosa da central para a frente de trabalho; Colocação do camião encostado à frente da pavimentadora; Camião descarrega a mistura betuminosa para a pavimentadora que o coloca no local pretendido; Compactação com os cilindros; Extracção de carotes para ensaio em laboratório;
Fresagem	Marcação no pavimento da espessura a fresar; Colocação da fresadora no local e início da fresagem; Limpeza dos fresados;

Actividade	Mapeamento da actividade
Colocação de lancis	<p>Marcação do local a encostar o lancil;</p> <p>Transporte e colocação da argamassa e dos lancis junto da frente de trabalho;</p> <p>Abertura da vala e execução da fundação;</p> <p>Colocação da argamassa sobre a fundação e dos lancis junto do local a colocar;</p> <p>Assentamento dos lancis nivelados;</p>
Construção de valetas	<p>Escavação do terreno com inclinação pretendida;</p> <p>Nivelamento da superfície;</p> <p>Encomenda de argamassa de cimento;</p> <p>Colocação de argamassa no local pretendido;</p> <p>Moldagem da argamassa no formato desejado;</p>
Acabamentos das caixas de visita e sumidouros	<p>Encomenda das estruturas das tampas de visita e sumidouros;</p> <p>Entrega no estaleiro das estruturas;</p> <p>Colocação de argamassa, tijolos e das estruturas na frente de trabalho;</p> <p>Marcação da cota pretendida para a estrutura a colocar;</p> <p>Construção do suporte com argamassa e tijolos;</p> <p>Colocação da estrutura à cota e inclinação pretendida;</p>

4.5 Análise do estado actual e proposta de melhoramento

Nesta secção foi executada uma interpretação de todas as actividades realizadas e uma medição do tempo de realização de cada tarefa. Em cada actividade obteve-se informação do modo como é executada, dos intervenientes no processo e foi feita uma medição no local do tempo de realização da mesma. Na realização normal da tarefa procedeu-se à medição do tempo de realização, sem que os vários intervenientes do processo soubessem que essa medição estava a ser realizada.

Os anexos III e IV correspondem a um mapeamento do estadual actual, em que se observa todo o conjunto de actividades observadas.

De seguida será desenvolvido o estado actual e as propostas de melhoria para cada actividade.

4.5.1 Central de misturas betuminosas a quente

As centrais de mistura betuminosa a quente utilizadas pela empresa são do tipo amovível, tendo que se estudar a sua viabilidade de montagem num local próximo da obra, para reduzir o transporte da mistura para a frente de trabalho. É quantificada a despesa que se tem em transporte da mistura de uma central já em funcionamento e a despesa que se tem com a deslocação e montagem da central na obra. Depois desta análise é implementada a solução que mais convém à empresa.

A empresa onde se executou as validações possui dois tipos de centrais a serem utilizadas nesta obra: as contínuas e as descontínuas. A central contínua encontra-se junto da frente de obra e a central descontínua a trinta quilómetros da frente de obra.

Durante o período de 3 a 12 de Janeiro de 2011 a central utilizada para a produção da mistura betuminosa a quente foi a contínua, devido a se encontrar mais próximo da obra, logo poupa-se custos no transporte da mistura. No dia 12 ocorreu um incêndio nessa central, originando que esta ficasse completamente inutilizável, até reparação dos constituintes danificados.

A partir do dia 13 de Janeiro passou a ser utilizada a central descontínua, originando maiores custos no transporte da mistura betuminosa a quente para a frente de obra.

Em ambas as centrais existe um stock de materiais para serem utilizados na mistura, encontram-se em vários depósitos, em que cada um dos depósitos corresponde a um determinado material. Estes depósitos não se encontram bem separados nem a sua disposição é a melhor, originando manobras da pá carregadora desnecessárias. Existe material que nunca é utilizado, isto é, encontra-se no fundo e o novo é sempre descarregado em cima deste.

O *stock* de material existente é o suficiente para manter a central a funcionar durante 4 dias seguidos. O tempo de fornecimento é de 18 horas, pelo que a quantidade de material em stock pode ser reduzido.

Na central contínua, os materiais são carregados por uma pá carregadora que os coloca na tremonha (Figura 2), é feita a dosagem do material através da calibração da abertura das tremonhas e da velocidade do tapete, - tem que existir uma calibração regular dos aparelhos para que o doseamento seja efectuado correctamente. Na central através de tapetes, procede-se ao transporte e pesagem dos materiais para a zona de secagem e mistura; neste transporte é adicionado o *filler* previamente pesado. No secador, o betume asfáltico que se encontra em cisternas aquecidas a gasóleo é adicionado à mistura, sendo esta misturada colocada homogeneamente à temperatura entre 160 e 180 °C. De seguida a mistura é transportada para um silo, que armazena a mistura ou descarrega para o camião.



Figura 2 - Tremontas e depósito de materiais

Na central descontínua os inertes são colocados pela pá carregadora nas tremontas, que os descarregam para um tapete. Aqui são transportados para o tambor-secador, onde é feita a sua secagem a 150°C. As quantidades de cada material são controladas através de uma calibração da abertura da tremonta e da velocidade dos tapetes, sendo que esta também controla a capacidade de produção da central.

De seguida, os materiais são transportados num elevador para um sistema de crivagem que os separa nas fracções necessárias, sendo que cada fracção passa para silos de armazenamento a quente. Estes silos libertam os inertes para o misturador, onde é junto o betuminoso já previamente aquecido. Por fim esta mistura é colocada em silos de armazenamento (possui 6 silos, com capacidade de 20 toneladas (Ton)) e quando é necessário descarrega para o camião.

O arranque de uma central tem um custo elevado, uma vez que todas as tubagens e o forno têm de ser aquecidos. Para otimizar o processo, a central é iniciada apenas quando existe uma quantidade significativa de mistura para aplicar.

Uma central requer uma manutenção cuidadosa, para que esteja sempre apta a funcionar quando é necessário.

Quando a central inicia o seu funcionamento é retirada uma porção da mistura para ser feita uma análise em laboratório a nível de granulometria e quantidades de cada constituinte da mistura. Por vezes a qualidade da mistura betuminosa não se encontra assegurada o que origina que a mesma não possa ser utilizada.

Propostas de melhoria:

As propostas de melhoria serão apresentadas para a central descontínua, na medida em que a central contínua durante o estudo encontrava-se em reparação.

Implementação do *JIT* para se reduzir a quantidade de material existente em *stock* junto da central, como complemento desta ferramenta será utilizado o *Kanban* que serve para simbolizar a necessidade de fornecimento de materiais.

Implementação de 5S para que os materiais sejam arrumadas e dispostos da melhor maneira, evitando trabalho desnecessário para a pá carregadora.

Utilização de *Kaizen* para que exista um controlo muito rigoroso da qualidade do material produzido, porque no caso da mistura betuminosa não estar nas condições adequadas terá de ser fresada a superfície onde foi aplicada e colocado uma nova mistura.

TMP, para uma manutenção preventiva da central de modo a prevenir avarias da mesma o que origina paragem de toda a produção.

Vantagens da implementação:

Existindo menor quantidade de materiais em stock consegue ocupar-se menos espaço com depósito dos mesmos e o valor monetário mobilizado é menor. Os materiais ao serem arrumados correctamente são utilizados até ao fim do stock, deixando de existir material com fracas condições para utilização devido ao excesso de tempo em depósito.

Os materiais arrumados numa disposição mais apropriada originam menos deslocamentos da pá carregadora porque os materiais que são utilizados mais vezes ficam depositados mais perto das tremonhas.

Ao existir um controlo mais rigoroso da qualidade do produto origina uma diminuição da quantidade de mistura betuminosa que é aplicado sem que tenha as características necessárias. Desde modo consegue-se diminuir a quantidade de material que tem de ser fresado e evitar a repavimentação.

4.5.2 Frente de trabalho de pavimentação com mistura betuminosa a quente

Em primeiro lugar é feita a limpeza da superfície que se vai pavimentar utilizando uma mini pá carregadora com escova, uma mini pá carregadora e um compressor de ar comprimido que sopra os restos de materiais. É utilizada mão-de-obra para ajudar a remover restos mais secos e a varrer algumas partes que as máquinas não conseguem.

A caldeira de rega de emulsão betuminosa tem de estar previamente aquecida (60 °C) para que se proceda à rega de toda a superfície que vai ser pavimentada, tendo em atenção para não sujar os lancis com a emulsão. Existem dois tipos de emulsões betuminosas utilizadas nesta obra, as de rega de impregnação para aplicação de emulsão betuminosa sobre uma base granular e as de rega de colagem para aplicação entre camadas betuminosas.

A mistura betuminosa é transportada da central por camiões que vão descarregar directamente na pavimentadora. Por vezes a frota de camiões é excessiva porque se encontram camiões muito tempo à espera de descarregar. O tipo de camiões utilizados não era por vezes o melhor, ao ser constituído por tractor com semi-reboque o que dificulta a manobra para descarregar na pavimentadora em locais com menos espaço, originando que a mistura caísse para o chão (Figura

3). O tractor com semi-reboque tem uma capacidade de carga de 24 Ton e o camião de 4 eixos possui uma capacidade de carga de 18 Ton.

A pavimentadora coloca a mistura betuminosa até à cota pré definida pelo manobrador. Caso exista lancil a máquina controla a altura por ele, a largura de pavimentação é controlada na sua lateral pelos encarregados da frente de pavimentação ou manobradores. O manobrador da pavimentadora e os responsáveis pelo controlo da abertura do sistema de pavimentação por vezes não estão em concordância – dando origem a que a pavimentadora não esteja bem colocada na superfície e falte alcance para pavimentar um dos lados; tendo este trabalho que ser executado manualmente pelos serventes (Figura 4).



Figura 3 – Mistura betuminosa caída no chão



Figura 4 - Pavimentação manual

A compactação é realizada por dois cilindros de pneus e por um cilindro de rolos, compactando toda a superfície que foi pavimentada. Por vezes, a compactação não é homogénea originando vincos no pavimento e deposição da água naquele local. O cilindro de rolos possui um disco de corte para executar as juntas. As juntas são elaboradas sempre que a pavimentação é interrompida por um período em que a mistura solidifique completamente.

A segurança dos trabalhadores por vezes é desprezada na medida em que alguns trabalhadores não utilizam o material de segurança necessário como por exemplo capacete, apenas utilizam sempre os coletes reflectores e as botas de biqueira de aço.

No dia seguinte à pavimentação são retiradas carotes da mistura para análise em laboratório ao seu nível de compactação, analisando-se com regularidade a qualidade do produto final. Desta forma identificam-se os problemas e reporta-se os dados da produção, de modo a estabelecer-se um processo de melhoria contínua.

O principal condicionante desta actividade são as condições climáticas, quando começa a chover a pavimentação tem de parar, devido a condições impostas no caderno de encargos do dono de obra.

Propostas de melhoria:

Implementação de TPM para um controlo da manutenção do equipamento e da actividade.

O tipo de maquinaria utilizada na pavimentação requer muita manutenção preventiva, porque são máquinas com muitas ferramentas que têm de ser mantidas e verificadas periodicamente. O processo de pavimentação é um tipo de trabalho que se desenvolve em linha recta e que depende de todas as máquinas que estão a ser utilizadas, isto é, se uma das máquinas avaria automaticamente a frente de trabalho tem de parar.

Planeamento para realização desta actividade em época seca, ou caso não seja possível, planeamento a curto prazo da pavimentação em função das condições meteorológicas.

Interacção entre os vários intervenientes na actividade e controlo das tarefas para que se consiga criar um fluxo continuo de trabalho.

Vantagens da implementação:

Com uma manutenção regular, diminui-se a probabilidade de ocorrerem problemas com a maquinaria, evitando assim paragens na frente de trabalho. A manutenção é um custo para a empresa, mas no caso de não ser realizada e que ocorram avarias, a despesa que se vai ter é potencialmente superior ao custo de manutenção. Este custo é superior porque no caso de ocorrer uma paragem forçada, devido a avaria, todos os intervenientes no processo ficam parados e o arranjo tem um custo mais elevado devido a ter que se deslocar os mecânicos à frente de trabalho.

Planeamento a curto prazo da actividade em função das condições meteorológicas para se evitar o início da pavimentação e passado pouco tempo interrupção devido à ocorrência de precipitação.

Controlo de toda a actividade e do relacionamento entre os vários intervenientes para que não exista repetição de trabalhos devido a má execução dos mesmos.

4.5.3 Fresagem

Nos locais onde já se encontra mistura betuminosa antiga e se pretende pavimentar de novo tem que se proceder à fresagem da superfície para que a nova mistura fique à cota pretendida. No processo de fresagem tem de haver controlo da espessura de fresagem, fresando apenas até à cota pretendida que foi marcada anteriormente no pavimento (Figura 5).



Figura 5 - Marcação da espessura a fresar

Quando se pretende iniciar uma pavimentação junto a uma parte já pavimentada, tem de proceder-se à fresagem da superfície para se criar uma junta para que a nova pavimentação comece numa superfície completamente lisa, vertical e limpa - esta etapa ocorre principalmente nos ramais de acesso, cruzamentos ou rotundas e paragens ao final do dia (Figura 6).

No caso de esta junta ainda não estar completamente solidificada pode proceder-se ao corte da mesma com o disco de um cilindro de rolos. A fresadora possui um tapete, que caso seja pretendido envia logo os materiais da fresagem para dentro de um camião, pelo que os restos de materiais para serem limpos são relativamente poucos. A limpeza é feita por uma mini pá carregadora com escova e pessoal com vassouras e pás, que colocam os materiais para dentro de um camião. No caso de os fresados não serem encaminhados para o camião através do tapete, devido ao camião não estar disponível, o processo de limpeza vai ser mais demorado porque as quantidades a limpar são substancialmente maiores, originando trabalho desnecessário (Figura 7).

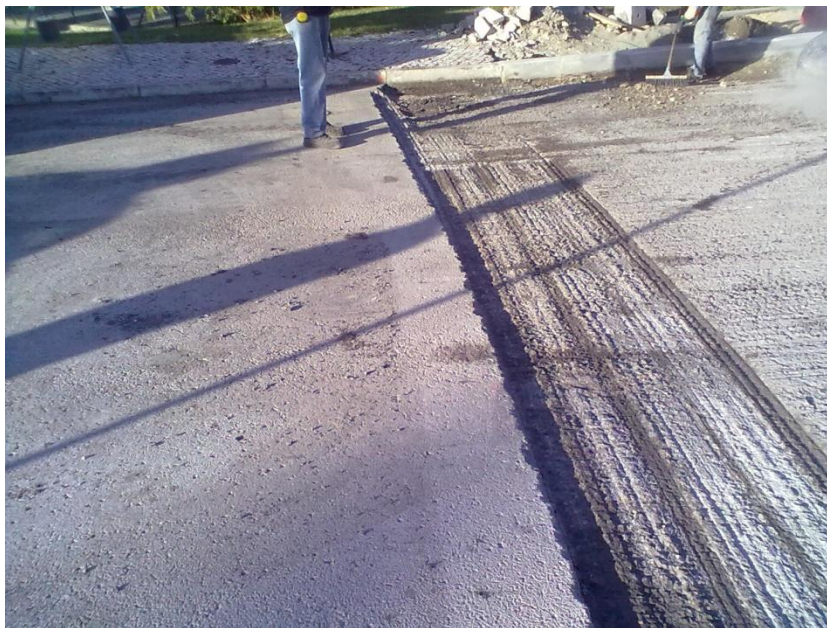


Figura 6 - Junta fresada para nova pavimentação



Figura 7 - Fresagem para o pavimento

Propostas de melhoria:

No processo de fresagem procede-se à medição e verificação constante da espessura que se vai fresar, tentando obter uma melhoria continua para que não se tenha trabalho a fresar a mais do que o necessário.

Aplicação de *TPM*, para que a manutenção da fresadora seja executada regularmente pelos trabalhadores para que funcione correctamente e com precisão.

Implementação de *JIT* para que uma tarefa sempre que esteja a ser mal executada, seja imediatamente interrompida e corrigida correctamente.

Eliminar um desperdício definido por Koskela (2000) que é *making-do*, o que se verifica neste caso que é início de uma actividade sem ter todos os meios disponíveis.

Vantagens da implementação:

Quando se controla regularmente a espessura fresada evita-se um excesso de fresagem, o que originaria maior quantidade de mistura betuminosa na pavimentação, e previne-se uma menor que o necessário, evitando repetição do trabalho de fresagem.

Através de uma manutenção preventiva do equipamento consegue assegurar-se um melhor e preciso funcionamento.

Sempre que a tarefa esteja a ser mal executada os executantes têm autoridade para parar e recomençar correctamente.

Se tivermos todos os recursos necessários para a correcta realização da actividade, consegue eliminar-se trabalho desnecessário, isto é, a fresadora carrega os fresados directamente para dentro de um camião, evitando a limpeza dos mesmos.

4.5.4 Colocação de lancis

O processo de colocação de lancis é executado antes ou depois da pavimentação. Em primeiro lugar, é marcado com uma linha nivelada o local onde vai encostar o lancil, de seguida os lancis e a argamassa de cimento necessária são colocados junto do local. Os materiais provenientes do estaleiro da obra são colocados em locais que impedem a realização da tarefa ou são colocados todos no mesmo sítio, forçando o transporte dos mesmos por parte dos pedreiros e serventes - originando tarefas desnecessárias. Procede-se à abertura da vala, depois de esta estar executada a fundação é preenchida com argamassa de cimento para fazer a ligação aos lancis de cimento. Após a colocação de toda a argamassa de ligação prevista para o dia de trabalho e esta começar a conferir presa procede-se então ao assentamento dos lancis nivelados sobre a mesma. No caso de a pavimentação já ter sido executada tem que se proceder à fresagem de toda a espessura do pavimento (Figura 8) para que o lancil encoste correctamente ao pavimento, ou no caso da pavimentação ainda não ter sido executada o espaço tem que ser preenchido com a mistura betuminosa (Figura 9).

Em todas as obras observadas o processo de colocação dos lancis não é executado correctamente, porque depois de aberta a vala, a fundação não é executada com argamassa de cimento.

Observou-se falta de coordenação entre a equipa de pavimentação e a de colocação de lancis; por vezes, as duas tarefas são executadas em simultâneo originando paragem forçada de uma actividade devido à continuidade da outra.



Figura 8 - Processo de fresagem do pavimento para colocação do lancil

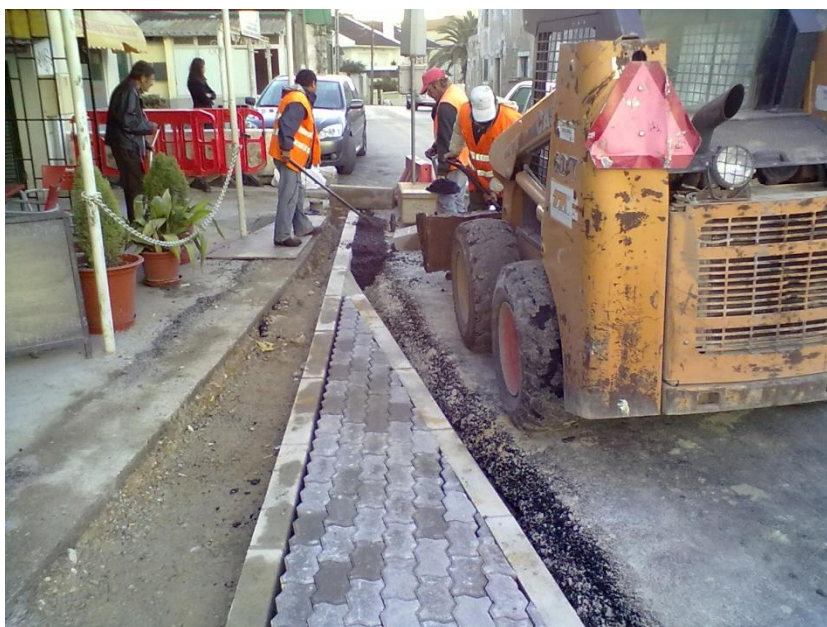


Figura 9 - Preenchimento do espaço com mistura betuminosa

Propostas de melhoria:

Aplicação de 5 S, para que os materiais sejam colocados de forma organizada e em locais onde não fiquem a impedir a correcta realização da tarefa. Especial atenção à aplicação de *Seiton*, para garantir que os elementos estejam sempre ao alcance dos utilizadores.

Diálogo e planeamento entre a actividade de pavimentação e de colocação de lancis, para que exista coordenação e complementaridade entre elas.

Vantagens da implementação:

Com o recurso a 5 S consegue-se uma eliminação de etapas desnecessárias, deixa de ser necessário transporte de materiais por parte dos pedreiros, estando estes ao alcance do utilizador.

Aumento da produtividade devido à existência de diálogo entre as várias frentes de trabalho, para que uma tarefa não condicione a outra e se complementem.

4.5.5 Construção de valetas

Na construção de valetas, em primeiro lugar, uma giratória escava o terreno com a inclinação pretendida, de seguida um servente alisa a superfície do terreno concedendo-lhe o formato pretendido, um camião betoneira descarrega sobre a superfície a argamassa de cimento que é moldada pelos serventes com o formato desejado (Figura 10).

Muitas vezes este processo não é contínuo porque não está completamente alisada uma superfície de tamanho suficiente para aplicar continuamente um carro de argamassa de cimento. Na betonagem da valeta por vezes parte desta não fica bem assente porque a superfície não está regular, originando ruptura da mesma devida à falta de suporte ou este possuir más características.



Figura 10 - Execução de valetas

Propostas de melhoria:

JIT e Kaizen, entrega da argamassa de cimento por parte do carro betoneira no momento em que é mesmo necessário, informando o executor da tarefa a altura em que se pode aplicar continuamente um carro de betão, para que não exista perda de tempo à espera que a superfície esteja regularizada.

Verificação constante das características da superfície ou seja, verificar se esta se encontra alisada para que a argamassa fique bem assente.

Um planeamento antecipado da actividade para que se desenvolva de um modo contínuo sem interrupções desnecessárias.

Vantagens da implementação:

Através da implementação destas melhorias o processo desenvolve-se de um modo contínuo, devido à autonomia que os intervenientes têm para mandar vir o camião de cimento no momento em que se encontra preparada a superfície para descarregar continuamente um camião.

Eliminação da repetição de trabalhos, através da verificação constante do estado em que se encontra a superfície onde assenta a argamassa, o que proporciona a correcta realização da tarefa na primeira execução.

4.5.6 Construção de caixas de visita e sumidouros

Nesta actividade são executadas as caixas de visita, os sumidouros e as drenagens em manilhas através dos taludes.

As caixas de visita e os sumidouros são construídos à cota final de projecto para que fiquem ao nível do pavimento, sendo que no caso de repavimentação podem ter que ser levantados ou baixados até à cota pretendida (Figura 11).

São equipas subcontratadas que realizam estas tarefas pelo que não existe muita coordenação entre elas e a empresa contratada. Ocorre o caso de as caixas e os sumidouros serem construídos a uma cota, e antes da pavimentação o trabalho ter de ser refeito para colocar à cota correcta ou com a inclinação pretendida. O canal por onde a água é encaminhada é feito em manilhas de betão em que o diâmetro varia consoante o indicado em projecto (Figura 12).

As caixas de visita e os sumidouros são construídos à cota final com argamassa de cimento e pedras para perfazer a altura pretendida.



Figura 11 - Construção de caixa de visita à cota pretendida



Figura 12 - Manilhas de escoamento da água

Propostas de melhoria:

Aplicação de *JIT* para um acompanhamento rigoroso da actividade e uma coordenação com a empresa contratada de modo a que estejam as duas em coerência relativamente às cotas e inclinação do pavimento.

Vantagens da implementação:

Através da interacção entre as duas equipas de trabalho consegue-se sincronizar a realização dos trabalhos de modo a que as cotas de execução sejam as mesmas em ambas as actividades. Deste modo consegue evitar-se que o trabalho tenha de ser refeito o que originaria acréscimo de tarefas que não acrescentam valor ao produto final.

4.6 Mapeamento do estado futuro

No capítulo anterior foram identificados os desperdícios existentes neste tipo de obra, tendo sido elaboradas propostas de melhoramento. O mapeamento do estado futuro foi elaborado com base nas propostas definidas anteriormente, procedendo-se à realização de um mapa onde se menciona o modo de realização das actividades no futuro.

No mapeamento do estado futuro não são visíveis todas as propostas de melhoria. O mapeamento é um processo em que apenas se consegue visualizar o processo no seu todo, não garante a capacidade de aplicabilidade (Gonçalves, 2009). Na secção seguinte, serão abordadas todas as propostas de melhoria e análise dos resultados obtidos. Apresenta-se a seguinte tabela com o mapeamento do estado futuro (Quadro 3).

Quadro 3 - Mapeamento do estado futuro

Actividade	Mapeamento da actividade
Produção de misturas betuminosas a quente (central)	<p>Encomenda de matéria-prima;</p> <p>Entrega e depósito de matéria-prima no local de utilização;</p> <p>Aquecimento da central;</p> <p>Transporte com pá carregadora para a tremonha;</p> <p>Mistura de todos os materiais pela central;</p> <p>Ensaio de laboratório à mistura;</p>
Pavimentação de misturas betuminosas a quente (frente de obra)	<p>Limpeza da superfície que se vai pavimentar;</p> <p>Aquecimento da caldeira de rega de impregnação ou colagem;</p> <p>Rega de impregnação ou rega de colagem;</p> <p>Transporte da mistura da central para a frente de trabalho;</p> <p>Colocação do camião encostado à frente da pavimentadora;</p> <p>Camião descarrega a mistura para a pavimentadora que a coloca no local pretendido;</p> <p>Compactação com os cilindros;</p> <p>Extracção de carotes para ensaio em laboratório;</p>
Fresagem	<p>Marcação no pavimento da espessura a fresar;</p> <p>Colocação da fresadora no local e início da fresagem;</p> <p>Limpeza dos fresados;</p>
Colocação de lancis	<p>Marcação do local a encostar o lancil;</p> <p>Abertura da vala e execução da fundação;</p> <p>Transporte e colocação sobre a fundação da argamassa de cimento e dos lancis junto do local a colocar;</p> <p>Assentamento dos lancis nivelados;</p>

Actividade	Mapeamento da actividade
Construção de valetas	Escavação do terreno com inclinação pretendida; Nivelamento da superfície; Encomenda de argamassa de cimento; Colocação de argamassa no local pretendido; Moldagem da argamassa no formato desejado;
Acabamentos das caixas de visita e sumidouros	Encomenda das estruturas das tampas de visita e sumidouros; Entrega no estaleiro das estruturas; Colocação de argamassa, tijolos e das estruturas na frente de trabalho; Marcação da cota pretendida para a estrutura a colocar; Construção do suporte com argamassa e tijolos; Colocação da estrutura à cota e inclinação pretendida;

4.7 Implementação das novas propostas

O controlo de implementação possui um papel importantíssimo para o êxito da mesma.

As alterações são implementadas e é verificado constantemente se estão a ser cumpridas, de modo a conseguir-se a análise e conclusão das mesmas.

Os anexos III e V correspondem a um mapeamento do estado futuro em que se observa as modificações após a implementação dos princípios *Lean*. Apenas é observável uma modificação na medida em que as principais modificações introduzidas foram em questões particulares de cada actividade. No mapeamento apenas se consegue verificar os processos como um todo.

Central de mistura betuminosa a quente

Não foi possível nesta actividade realizar-se qualquer tipo de implementação. Seria implementado *JIT* com *Kanban* pois a quantidade de material existente em stock deve ser reduzida, dado possuir stock para 4 dias de funcionamento na sua máxima capacidade de produção. O tempo de fornecimento é de 18 horas, pelo que o stock de material pode ser reduzido para apenas 2 dias. Quando o stock de material for a meio da quantidade utilizada, o operador da central informa a sede para que seja entregue mais material.

Nos locais onde estão depositados os materiais será colocada uma divisão central a meio do *stock*; pelo que os materiais, em cada um dos lados, são consumidos na sua totalidade, deixando de existir material que nunca é utilizado.

A disposição dos materiais tem de ser modificada para que os materiais que são mais utilizados estejam mais perto das tremonhas e disposto nos montes pela mesma ordem que se encontram as tremonhas.

Como mencionado anteriormente, é muito importante um controlo rigoroso da qualidade dos materiais produzidos na central através de *Kaizen*, para que o produto final não seja de má qualidade, originando repetição de trabalhos. Deste modo a calibração de todos os aparelhos da central e verificação das medições deve ser executada periodicamente. Diariamente tem que se executar ensaios à mistura betuminosa para se analisar se os constituintes da mistura após a sua amassadura são exactamente os pré-definidos.

Frente de trabalho de pavimentação

Procedeu-se à implementação do *TPM* para um controlo rigoroso da manutenção do equipamento. Todo o equipamento é verificado diariamente no início dos trabalhos e no caso de ser detectada alguma anomalia é comunicada à oficina para que seja reparada com brevidade. Quando o equipamento não se encontra em utilização, o seu manobrador procede à manutenção e lubrificação das partes mais demoradas. No caso de o equipamento ser deslocado para o estaleiro principal da empresa, devido à mudança de obra, é feita a sua revisão completa e substituição de peças que apresentem desgaste.

Procede-se ao controlo na realização das várias tarefas desta actividades com especial atenção a:

- Juntas entre as várias pavimentações, quando se vai pavimentar encostado a uma junta da mistura betuminosa, esta têm de estar completamente vertical e em bom estado. No caso dessa junta ainda estar quente, devido a recente pavimentação, pode ser logo aplicada a nova mistura encostado à existente e caso necessário o acabamento é elaborado manualmente (Figura 13);
- Temperatura a que a mistura é aplicada (Figura 14), não deve existir uma frota excessiva de camiões porque origina muito tempo de espera para descarregar e a mistura arrefece. Se a quantidade de camiões for dimensionada em função da distância a percorrer e das condicionantes do trânsito não existe este problema e também não são mobilizamos recursos desnecessários;
- Verificação da compactação da mistura betuminosa através de ensaios de laboratório, para saber se cumpre os requisitos mínimos exigidos no caderno de encargos.
- Verificação da pendente do pavimento para os sumidouros para evitar depósitos de água no pavimento (Figura 15), e especial atenção ao modo de compactação dos cilindros conferindo a pendente ao pavimento e não deixar vincos na mistura betuminosa.



Figura 13 – Limpeza da junta elaborada manualmente



Figura 14 - Controlo da temperatura da mistura betuminosa



Figura 15 - Depósito de água no pavimento

Especial atenção à realização do planeamento da tarefa para que seja elaborado em função das condições climáticas. Sempre que comece a chover a actividade deve ser imediatamente interrompida, sendo retomada quando as condições climáticas o permitirem.

O modo de realização da tarefa deve ser verificado regularmente para que tudo seja realizado como mencionado em projecto, obtendo deste modo um fluxo de produção e redução do tempo de realização da tarefa.

Fresagem

Implementação de *JIT* e *TPM*; *TPM* o equipamento é verificado constantemente para evitar avaria do mesmo. Diariamente é verificado o estado de funcionamento da fresadora (lâminas afiadas, níveis de óleo e lubrificação dos mecanismos), da mini pá carregadora e do camião. Utilização de *JIT* de modo a que o processo quando está a ser executado erradamente pára logo e procede-se à sua correcta realização, evitando deste modo repetição do trabalho.

Através de uma verificação constante evita-se que seja fresada espessura a mais o que origina trabalho desnecessário, ou espessura a menos que origina repetição de trabalho.

A tarefa nunca é inicializada sem que estejam disponíveis todos os meios necessários para a sua correcta realização, conseguindo deste modo um fluxo contínuo de produção. É executado um correcto planeamento para que no início da actividade esteja disponível fresadora, camião e mini pá carregadora com escova de limpeza (Figura 16).



Figura 16 - Processo de fresagem executado com todos os meios necessários

Colocação de lancis

Existia falta de planeamento antecipado entre os intervenientes neste processo e no processo de pavimentação, por vezes os dois trabalhos eram realizados em simultâneo o que forçava a paragem de um deles (Figura 17). Também acontecia que na pavimentação se colocava mistura betuminosa em locais onde deveria estar lancil ou falta de mistura betuminosa para rematar com o lancil.

Para fazer face a estes problemas tem de se executar reuniões com antecedência entre os vários intervenientes nos dois processos para que exista fluxo na complementaridade entre trabalhos.

Implementação de 5 S em que os materiais quando são colocados na frente de obra são dispostos da melhor maneira possível (Figura 18).

Em primeiro lugar é escavada a superfície da fundação. Os lancis são colocados em vários montes de poucas peças ao longo do comprimento a executar, deverá ser dada especial atenção à aplicação de *Seiton* para que os materiais estejam sempre ao alcance do utilizador. De seguida é colocada toda a argamassa de ligação entre a fundação e os lancis para o período de trabalho de um dia. Por fim procede-se à colocação dos lancis nivelados no local, preenchimento das juntas entre lancis com argamassa de cimento e correcção do nivelamento caso necessário. Depois de a argamassa de cimento ser colocada na fundação esta permanece por um período entre 4 a 6 horas para que comece a formar presa, só depois são colocados e nivelados os lancis.

A segurança dos trabalhadores por vezes é desprezada na medida em que alguns trabalhadores não utilizam o material de segurança necessário como por exemplo capacete, apenas utilizam sempre os coletes reflectores e as botas de biqueira de aço.



Figura 17 - Processo de colocação dos lancis e pavimentação em simultâneo



Figura 18 - Processo de colocação de lancis organizado segundo 5 S

Construção de valetas

Implementação de *JIT* na tarefa, passando os intervenientes a ter autonomia de decisão e deste modo um melhor controlo da actividade.

A giratória escava o terreno com a inclinação pretendida, um servente alisa a superfície e o encarregado manda vir o camião betoneira para descarregar argamassa de cimento apenas no momento em que consegue aplicar continuamente a quantidade toda que vem no camião.

Verificação regular por parte do encarregado das características e compactação do terreno em que assenta a argamassa de elaboração das valetas. Esta verificação é assegurada para que a valeta não abra fissuras ou abata juntamente com o terreno devido às más características do terreno, deficiente compactação ou falta de regularização. No caso de ser necessário procede-se à substituição do tipo de terreno por um com melhores características (Figura 19).



Figura 19 - Substituição do tipo de terreno

Construção de caixas de visita e sumidouros

De modo a conseguir um fluxo contínuo de trabalho implementou-se *JIT*, para que exista um acompanhamento rigoroso por parte do encarregado de toda a actividade, através de uma coerência entre as cotas de pavimentação e as das caixas de esgotos e sumidouros.

Possibilidade de realização de reuniões periódicas para interacção entre os intervenientes nesta actividade e na de pavimentação, para que a cota final do pavimento corresponda exactamente à mesma cota dos sumidouros e das caixas de visita (Figura 20). Quando o topógrafo marca os pontos para a pavimentação, marca também logo os pontos para as caixas e sumidouros utilizando sempre os mesmos pontos de referência. Quando é necessário marcar novamente pontos, estes são marcados para as duas actividades e com o mesmo ponto de referência.

Verificação por parte do encarregado da inclinação do pavimento para que a água escoe directamente para os sumidouros.



Figura 20 – Caixa de visita à cota do pavimento

5 Análise dos resultados

Neste capítulo, será analisada a aplicabilidade das filosofias *Lean* a obras rodoviárias e as vantagens que as ferramentas *Lean* podem originar neste tipo de obras. Nos capítulos anteriores, foram identificados os desperdícios e as ferramentas *Lean* que se aplicam a cada tipo de desperdício. Agora, será feita uma análise, do modo como as filosofias *Lean* conseguiram diminuir os desperdícios e quais são as suas limitações nestes casos.

É realizada uma comparação entre os rendimentos e os desperdícios de cada actividade, antes e depois da aplicação da filosofia *Lean*.

Central de mistura betuminosa a quente

O *stock* de material existente na central descontínua tem de ser consumido na sua totalidade; sendo que no período de análise em obra esse *stock* ainda não tinha sido consumido na sua totalidade. A capacidade máxima de produção da central é 800 Ton/dia; sendo que neste período de tempo, a produção da central em média foi apenas de 165 Ton/dia. Com esta média de produção diária, seria necessário um período de quase vinte dias de laboração para que todo o *stock* fosse consumido na sua totalidade.

Desde modo não foi possível a implementação das melhorias nesta actividade.

Frente de trabalho de pavimentação

Diariamente, antes do início da actividade, a pavimentadora é lubrificada, realiza-se uma inspecção visual a todas as peças que possam apresentar desgaste e no caso de ser detectada alguma anomalia é reportada para a oficina. A manutenção preventiva, é executada 20 Min antes do início da actividade e este acréscimo de custo é contabilizado na avaliação económica. Os arranjos executados pela oficina, são realizados preferencialmente em alturas em que a máquina está parada. Os cilindros também são verificados diariamente; e ao fim do dia de trabalho é relatada a necessidade de colocar água nos depósitos, para que no dia seguinte, não esteja à espera da cisterna de água.

O tipo de camiões utilizado continua a ser tractor com semi-reboque ou camiões de quatro eixos. O tractor com semi-reboque é utilizado preferencialmente quando a distância da frente de obra à central é maior; sendo por vezes utilizado na pavimentação em rotundas, o que dificulta as manobras originando perda de tempo.

A nível do planeamento da actividade não foram elaboradas modificações, por conseguinte, a actividade é iniciada e é produzida uma grande quantidade de mistura betuminosa, sem que se consulte com regularidade as previsões meteorológicas. Por vezes, enquanto decorre a pavimentação começa a chover; a actividade não é interrompida para não se desperdiçar a mistura betuminosa que está nos camiões; originando problemas a curto prazo no estado do pavimento (Figura 21).

Esta variável é impossível de ser controlada, porque as condições climáticas não são controláveis.



Figura 21 - Problemas no pavimento devido à acção da chuva

Conseguiu aumentar-se o rendimento desta frente de trabalho numa média de aproximadamente 10%, passando de 40 Ton/h para 44 Ton/h, considerando uma largura de pavimentação de 3,5 m e uma espessura de 0,07m (Figura 22).

Os rendimentos desta actividade foram medidos em Ton/h; os intervenientes no processo foram sempre os mesmos; foi tido sempre em consideração para o cálculo do rendimento os mesmos processos da actividade, antes e depois da aplicação da filosofia *Lean* (anexo II).

O cálculo do rendimento, foi executado, através da média da medição de vários rendimentos, tendo-se em consideração todos os processos. Os equipamentos condicionantes no rendimento são a pavimentadora e os cilindros de compactação.

Este acréscimo de rendimento deve-se a:

- Mecanismos da pavimentadora funcionam com mais facilidade devido a serem lubrificados regularmente;
- Quando se inicia o trabalho os cilindros já estão com água, não sendo necessários parar, para que seja colocada a água;
- Ocorrem com menor frequência paragens da pavimentadora causadas pelas avarias ou falta de calibrações;
- Controlo das actividades e dos processos mencionados no capítulo 4.7 na abordagem referente à frente de trabalho de pavimentação.

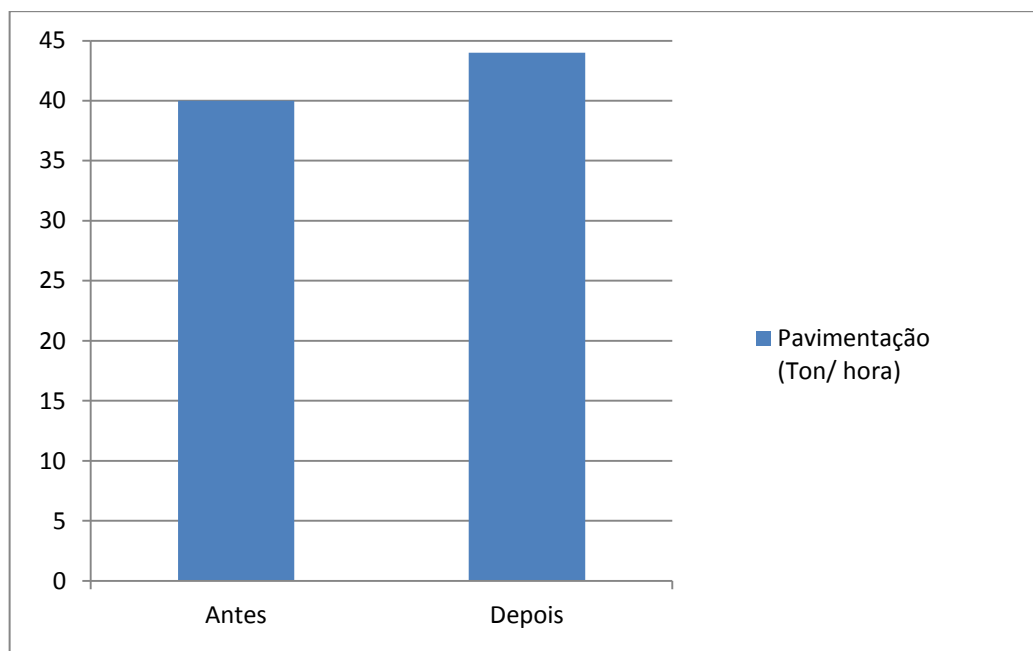


Figura 22 - Quantidade pavimentada

O rendimento da frente de trabalho de pavimentação foi medido desde o início do processo de limpeza até a mistura betuminosa estar completamente compactada. No período de trabalho de uma hora foi medida a quantidade que se conseguia elaborar.

Fresagem

É verificado diariamente o estado em que se encontra a fresadora, nomeadamente; se a lamina está em bom estado e se a espessura que vai a fresar corresponde à pretendida.

Na mini pá carregadora com escova, é verificado diariamente, o estado da escova de limpeza, para que esta limpe com a maior eficiência possível; sendo esta limpa e conservada diariamente, aumentando a sua durabilidade.

A actividade teve um aumento de produtividade de aproximadamente 17%, passando de 17Min/m² para aproximadamente 14 Min e 30 Segundos/m², a fresar uma espessura de 0.05 m (Figura 23). O rendimento foi medido, desde a marcação da espessura a fresar, até ao final da limpeza dos fresados. Para o cálculo dos rendimentos, os intervenientes no processo foram sempre os mesmos; foi tido sempre em consideração, os mesmos processos da actividade, antes e depois da aplicação da filosofia *Lean* (anexo II).

Este aumento, deve-se ao controlo da espessura que está a ser fresada (fresando exactamente o necessário), controlo do estado do equipamento e à fresadora carregar sempre os fresados para dentro do camião. A fresadora ao carregar os fresados para dentro do camião, faz com que a quantidade a limpar com a mini pá carregadora seja menor e de fácil execução, consequentemente o rendimento da actividade aumenta.

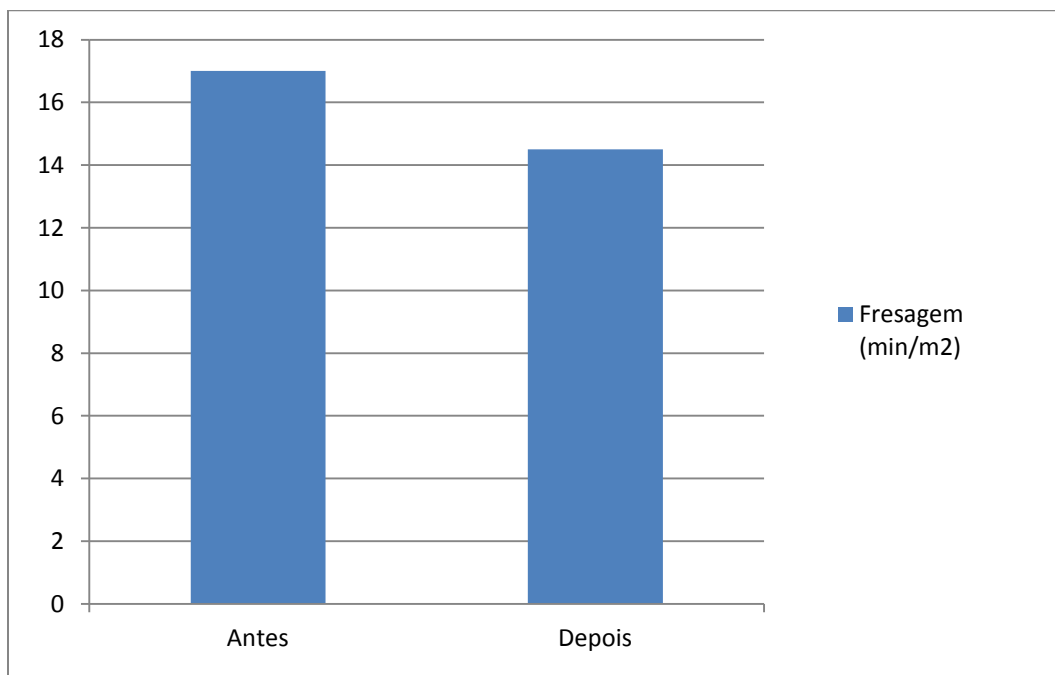


Figura 23 - Tempo de fresagem

Colocação de lancis

Em primeiro lugar, passou a ser realizada a preparação da fundação. Deste modo o camião com a argamassa de cimento, descarrega logo no local onde é para ser aplicada, sendo apenas necessário alisá-la e esperar que comece a formar presa. Os lancis, quando vêm do estaleiro para a frente de obra são colocados em pilhas de 2 a 4 elementos e com espaçamento ao longo de todo o percurso. Por último, os lancis são colocados no local, nivelados e são rematados com argamassa de cimento.

O rendimento desta frente de trabalho aumentou cerca de 18%; o tempo de realização passou de 1 h e 44 Min/m para 1 h e 28 Min/m (Figura 24).

O rendimento foi medido através de um dia de trabalho, devido ao processo não ser executado de um modo contínuo, porque sempre que a argamassa de cimento é colocada na fundação tem que se esperar que comece a formar presa. Deste modo o lancil só é colocado após a argamassa já ter formado presa.

Para a medição do novo rendimento, utilizou-se os mesmos intervenientes no processo, e tendo-se em consideração, o acréscimo de tempo que a nova metodologia originou (preparação em estaleiro dos lancis para serem entregues na frente de trabalho já divididos) (anexo II)

A reunião entre as várias equipas para coordenação dos trabalhos não foi implementada. Deste modo não se consegue obter uma melhor optimização de todo o processo.

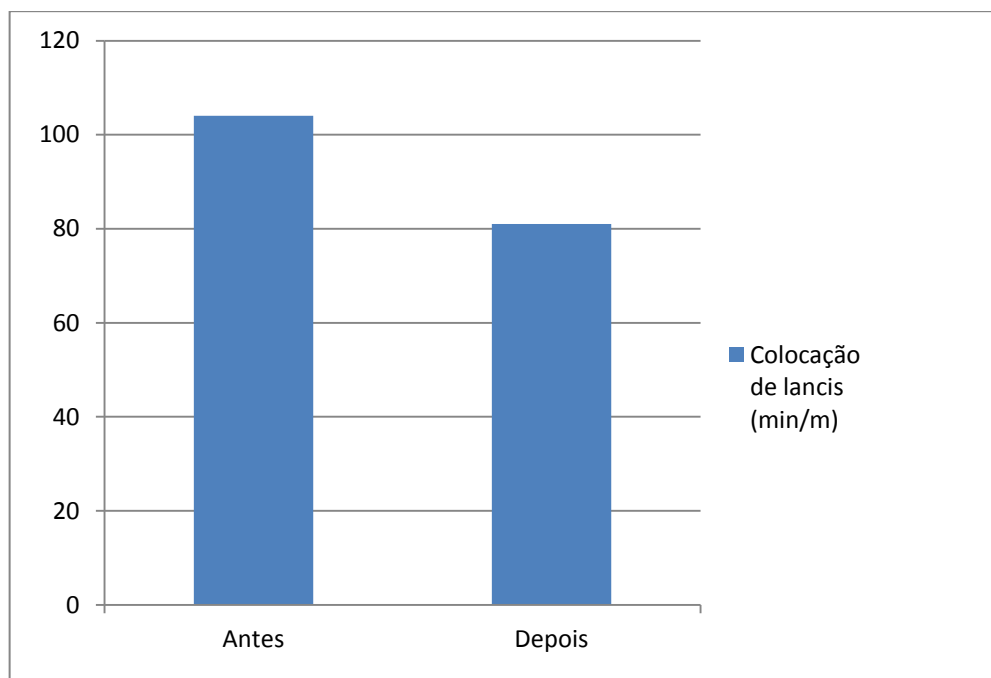


Figura 24 - Tempo de colocação de lancis

Construção de valetas

Em primeiro lugar, a giratória passou a escavar o terreno com a inclinação pretendida, o servente alisa a superfície e o encarregado verifica. Só depois de estar alisado um comprimento suficiente para descarregar um camião betoneira de argamassa de cimento, é que o encarregado manda para a frente de obra o camião.

Conseguiu alcançar-se uma optimização de recursos, porque o camião betoneira não fica parado na frente de trabalho à espera de poder aplicar argamassa, ficando este disponível para outras actividades.

Através da verificação constante do estado da superfície do terreno antes da colocação da argamassa, conseguiu prevenir-se problemas futuros de abatimento do terreno, que originam fissuração da valeta ou destruição da mesma.

Construção de caixas de visita e sumidouros

Não foi possível implementar reuniões entre os responsáveis por esta actividade e pela actividade de pavimentação. Implementou-se que os trabalhos desta actividade passassem a ser também verificados pelo encarregado da frente de pavimentação. Assim, conseguiu controlar-se a cota final dos sumidouros, caixas de visita e do pavimento.

Os topógrafos, quando procedem ao levantamento dos pontos para a pavimentação, elaboram em simultâneo o levantamento e marcação dos pontos para os sumidouros e caixas de visita.

Conseguiu diminuir-se o tempo de produção de 5 h e 15 Min/peça para 4 h e 50 Min/peça, o que origina um aumento de produção nesta actividade de aproximadamente 9% (Figura 25). Este acréscimo de produção deve-se ao trabalho ser executado à cota correcta, por conseguinte, não existe repetição do trabalho.

O rendimento desta actividade, foi medido desde a preparação da superfície para colocação das caixas de visita ou sumidouros até à conclusão do processo de construção. Para o cálculo dos rendimentos desta actividade, os intervenientes no processo foram sempre os mesmos; e foi tido em consideração, os mesmos processos da actividade antes e depois da aplicação da filosofia *Lean* (anexo II).

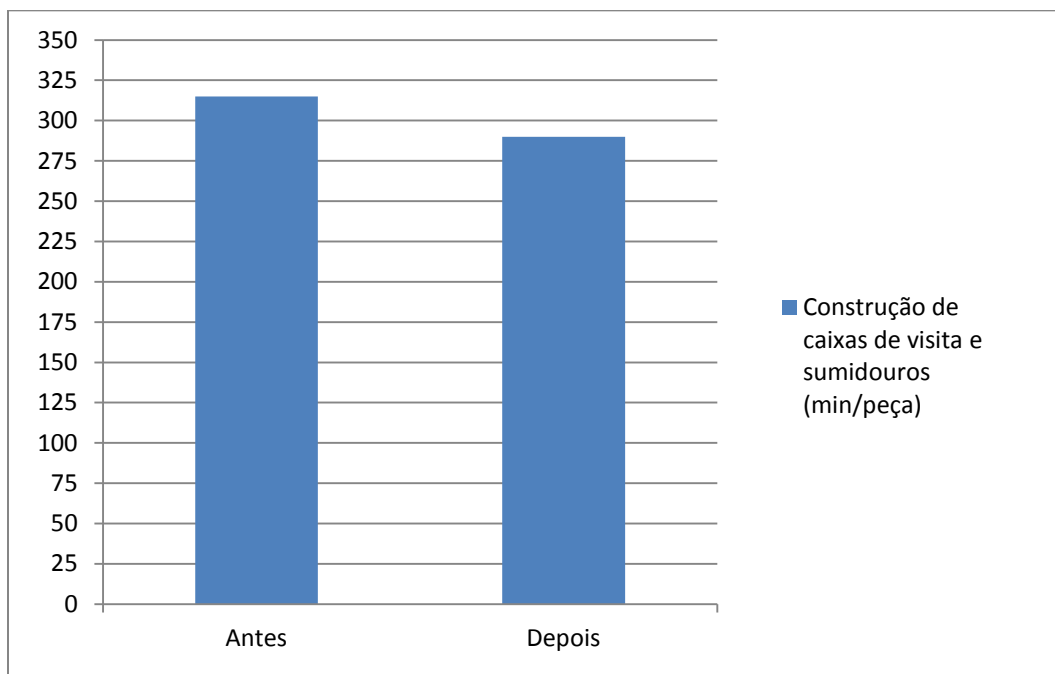


Figura 25 - Tempo de construção de caixas de visita

6 Discussão de resultados

A empresa em que foram feitas as medições, não permitiu a divulgação nesta dissertação de algumas informações. Essas informações são relativas a: nome da empresa, qualquer tipo de custos da empresa e número de trabalhadores em cada tarefa.

Neste capítulo, será feita uma discussão dos resultados que se obteve, depois da implementação da filosofia Lean, nas várias actividades analisadas.

O período de validação dos resultados, foi de 3 de Janeiro de 2011 a 26 de Janeiro de 2011, existindo neste período alguns dias em que a chuva impossibilitou a realização das várias actividades.

Central de mistura betuminosa

Durante o período de validação, o *stock* de materiais existentes ainda não tinha sido consumido na sua totalidade, impossibilitando a implementação. A produção da central encontra-se muito abaixo da produção máxima, devido às condições meteorológicas e à falta de trabalho.

Junto da central, encontram-se marcadores para serem colocados na zona dos depósitos onde estão metade dos materiais, simbolizando a altura em que é necessária a encomenda de mais material. Estes marcadores são iguais aos existentes em cada tremonha, que identifica os tipos de materiais (Figura 26).

A quantidade de material que iria existir em *stock* seria metade da que existia anteriormente. Deste modo, conseguir-se-ia diminuir para metade o valor monetário investido em stock de material e o espaço ocupado.

Quando uma central móvel é colocada na frente de obra ou junto de uma obra o terreno é alugado, por conseguinte, se o espaço ocupado pelo material em *stock* é menor também se pode alugar um terreno de menores dimensões, implicando menores custos.



Figura 26 - Tremonhas e marcadores existentes

Frente de trabalho de pavimentação

Através da implementação de uma manutenção preventiva e de uma verificação regular de todo o equipamento, conseguiu aumentar-se o rendimento da frente de trabalho. Este aumento do rendimento, deve-se à diminuição de avarias nas máquinas e a um melhor funcionamento de todo o equipamento. As máquinas ao estarem lubrificadas funcionam correctamente, evitando desperdício de tempo dos trabalhadores a resolver problemas que surjam. Frequentemente, o sistema de controlo da espessura da pavimentadora não funcionava bem; agora funciona correctamente. Os hidráulicos por vezes não funcionavam correctamente devido à falta de lubrificação, fugas de óleo ou baixa pressão; agora este tipo de avarias ocorre com menos frequência.

A nível financeiro, conseguiu-se um aumento do lucro de aproximadamente 5,4%, dependendo do material que se aplica, da largura e da espessura de pavimentação.

Passou a executar-se uma manutenção preventiva de todo o equipamento, o que teve um custo acrescido. Este aumento de despesa é compensado, pelo aumento de produtividade que a frente de trabalho teve, ao ocorrerem com menor frequência avarias do equipamento e pela diminuição da despesa com avarias do mesmo.

Esporadicamente, ocorrem pavimentações enquanto está a chover o que poderá originar problemas de futuro, a nível da qualidade do pavimento.

Estes problemas surgem com a utilização do pavimento; sendo que, na obra em causa, doze dias após a entrega da obra ao dono, surgiram logo problemas num local pavimentado enquanto chovia (Figura 27). Nesta zona e na periferia, a superfície vai ter de ser fresada e depois novamente pavimentada, originando trabalho desnecessário. É mais rentável, para a empresa e garante melhor qualidade do produto final, se no momento em que comece a chover a actividade de pavimentação for interrompida.



Figura 27 - Problemas da pavimentação com chuva

Fresagem

Com a implementação do *TPM*, conseguiu aumentar-se o rendimento desta actividade em aproximadamente 17 %. Este aumento de rendimento foi alcançado através de uma manutenção

preventiva e regular de todo o equipamento. Antes da implementação desta ferramenta ocorriam, por vezes, problemas no funcionamento da fresadora, a nível de controlo da espessura e funcionamento do motor.

Elabora-se um maior controlo da actividade, com o intuito de evitar que a espessura fresada seja superior ou inferior ao pretendido.

A actividade, apenas tem início, quando se encontram disponíveis todos os meios necessários para a sua correcta realização. Após a implementação, os problemas passaram a ocorrer com menor frequência, apenas em locais em que o processo é de difícil execução devido à existência de lancis ou caixas de visita. Os fresados, são sempre carregados directamente para o camião, o que proporciona um processo de limpeza mais rápido e fácil; isto apenas não acontece, quando o espaço é exíguo para colocar o camião.

A nível financeiro, considerou-se o aumento de rendimento que se obteve e o acréscimo de despesas; sendo o balanço final uma diminuição no custo de aproximadamente 4,3%. Durante os primeiros vinte minutos do início da actividade procede-se à realização da manutenção do equipamento. Este tempo e o custo que se mobiliza são compensado por:

- Aumento de rendimento que se obtém;
- Diminuição da despesa com avarias.

Colocação de lancis

Na empresa em que foram executadas as validações esta actividade encontrava-se mal planeada; na medida em que, a frente de trabalho estava desorganizada, originando baixa produtividade. Através de uma organização do espaço, conseguiu aumentar-se o rendimento em 18 %. Este aumento de rendimento, deve-se ao facto de os materiais passarem a estar distribuídos ao longo de todo o percurso e a superfície já estar preparada para que se descarregue directamente a argamassa de cimento sobre a fundação.

Os lancis, ao serem divididos antes de irem para a frente de obra, originaram um aumento de despesa, sendo esta neutralizada com o aumento de rendimento que se obtém na colocação. Deste modo, obteve-se uma diminuição de 5,5% no custo de realização da actividade.

Não foi possível a implementação de reuniões, entre os intervenientes ou responsáveis desta actividade e a de pavimentação. Deste modo, ocorrem problemas em que uma das actividades fica a impossibilitar a continuação da outra. Na maioria dos casos, a actividade de colocação de lancis é forçada a parar, para que a actividade de pavimentação continue o seu funcionamento.

Construção de valetas

Nesta actividade, não se conseguiu aumentar o rendimento através dos princípios implementados.

Obteve-se um fluxo contínuo de trabalho, na medida em que o encarregado é informado pelo pedreiro, para mandar vir o camião de argamassa de cimento, no momento em que tem tudo preparado para aplicar continuamente toda a quantidade.

Ocorre uma optimização de recursos, porque o camião betoneira não fica à espera que o servente prepare a próxima superfície para depois descarregar, pode descarregar a quantidade toda continuamente e seguir para outra actividade. Através desta optimização de recursos consegue diminuir-se o tempo que o equipamento é utilizado e consequentemente aumentar os lucros para a empresa. O equipamento fica menos tempo condicionado a esta actividade, ficando disponível para a realização de outras. Esta optimização de recursos, origina uma diminuição de custos na realização desta tarefa de 3%.

Construção de caixas de visita e sumidouros

Conseguiu alcançar-se um maior controlo da cota final dos sumidouros e caixas de visita, através da supervisão da actividade por parte do encarregado da frente de pavimentação. Deste modo, o encarregado da pavimentação informa da cota final a que vai ficar o pavimento e os executantes das caixas de visita e sumidouros colocam-nos à mesma cota. Os encarregados, vão verificando com regularidade a cota final a que têm de construir as caixas, e o encarregado da pavimentação informa-os no caso de existir alguma modificação.

Quando os topógrafos procedem à marcação dos pontos com as cotas para a pavimentação, marcam em simultâneo as cotas dos sumidouros e caixas de visita para que exista coerência entre as duas marcações.

Conseguiu diminuir-se a quantidade de trabalho repetido, que era executado devido à construção das caixas de visita e sumidouros à cota incorrecta, alcançando deste modo, a nível económico, uma diminuição nos custos de 4%. A actividade ao ser supervisionada pelo encarregado da pavimentação origina aumento de custos, mas a diminuição de despesa que se obteve devido a não ser necessário repetir os trabalhos compensa esse aumento de custos com a supervisão.

7 Conclusões

Os objectivos traçados para esta dissertação foram alcançados, analisou-se a adequabilidade e benefícios da aplicabilidade da LC a obras rodoviárias.

Primeiramente procedeu-se à realização de um estudo intensivo dos processos *Lean*, para se compreender as ferramentas *Lean*, modo de aplicação de cada uma delas e quais destas tinham maior potencial de aplicabilidade a obras rodoviárias. Foi elaborado um estudo dos processos de realização de obras rodoviárias, para que se conseguisse interligar a filosofia *Lean* às obras rodoviárias.

A caracterização dos processos construtivos foi elaborada através da observação em obra dos processos, diálogo com os vários intervenientes e consulta de documentos para interligação com os princípios *Lean*. Consegue-se deste modo compreender a aplicabilidade dos princípios *Lean* às obras rodoviárias.

Para aplicação dos princípios *Lean* a este tipo de obras utilizou-se o mapeamento do fluxo de valor. Com esta ferramenta observa-se de um modo simples e perceptível para todos os intervenientes na actividade o modo de execução de cada actividade, isto é, os vários processos que fazem parte de cada actividade e quais as que possuem maior potencial de melhoria. Analisaram-se os desperdícios existentes em cada uma das actividades, de modo a se identificar quais ferramentas *Lean* mais apropriadas a cada tipo de desperdício.

Por fim, as ferramentas *Lean* foram aplicadas nas actividades, estabelecendo a ligação entre as ferramentas *Lean* e a realidade das obras rodoviárias. Realizou-se uma análise e comparação de resultados antes da aplicação da filosofia *Lean* e depois da aplicação da mesma compreendendo-se os benefícios inerentes.

Neste trabalho demonstra-se que a filosofia *Lean* aplicada a obras rodoviárias consegue diminuir os desperdícios existentes, através de pequenas modificações do modo de execução de cada actividade. Todas as modificações elaboradas foram idealizadas a partir de uma análise do mapeamento de fluxo de valor, que se demonstrou ser uma ferramenta de fácil, mas objectiva e benéfica utilização. Esta ferramenta apenas fornece os “dados” para uma correcta implementação, sendo que as ferramentas *Lean* utilizadas neste caso para a implementação são *JIT*, *5S*, *TPM*, *Kanban*; destacando-se também da filosofia *Lean* as definições de *Kaizen*, planeamento e controlo da actividade.

Através das ferramentas *JIT* e *Kanban*, foi possível definir-se o modo de reduzir para metade a quantidade de material existente em *stock*, diminuindo para metade o capital financeiro empatado em *stock*. Deste modo aumenta-se a qualidade do material devido a se consumir na totalidade sempre o material, não ficando uma parte do material por utilizar.

JIT também foi utilizado para que algum material fosse entregue na frente de obra apenas no momento necessário e para controlo da actividade.

Com a utilização de *5S*, conseguiu-se nas actividades pretendidas organizar a frente de trabalho, originando a ocupação de menos espaço, aumento do rendimento, maior segurança e materiais colocados em locais onde não prejudicam a correcta realização da tarefa. Especial atenção

deve ser dada a *Seiton*, para que os materiais estejam sempre ao alcance dos utilizadores conferindo fluxo de trabalho.

Recorrendo à ferramenta *TPM*, procedeu-se à elaboração de uma manutenção preventiva e regular de todo o equipamento. Com esta manutenção o número de avarias do equipamento diminuiu e o rendimento aumentou devido ao seu correcto funcionamento.

Todas as actividades estão sujeitas a um processo de melhoria contínua, que segundo a filosofia *Lean* é definido por *Kaizen*, alcançando-se deste modo um produto final de valor acrescido.

Ao nível do planeamento algumas actividades sofreram modificações, uma vez que o planeamento de uma actividade tinha de ser elaborado em coordenação com outra para que se conseguisse obter fluxo de trabalho e consequentemente aumento da produtividade.

O controlo de determinadas actividades foi aumentado, para eliminar erros devido à falta de verificação do processo, e deste modo evitar trabalhos desnecessários.

Este trabalho apresenta às empresas de obras rodoviárias os principais problemas e desperdícios existentes neste tipo de obras e o modo como a *LC* os consegue eliminar ou corrigir através de simples modificações nos processos. Realça a importância que o controlo e a melhoria contínua das actividades têm para que os resultados prevaleçam ao longo do tempo na empresa.

7.1 Limitações do estudo

As principais limitações com que este trabalho se deparou foram o curto período de tempo de obtenção e tratamento de resultados. As condições climatéricas que impossibilitaram a realização das actividades em obra e a altura do ano em que o número de obras em curso é menor.

Como mencionado anteriormente, não foi possível proceder-se à implementação de certas propostas, pois tal implicaria realizar modificações mais profundas na empresa.

Para que a filosofia *Lean* fosse utilizada em toda a hierarquia da empresa seria necessária uma implementação destes princípios em todos os departamentos, apenas foi autorizada a implementação em algumas actividades.

8 Recomendações para trabalhos futuros

A validação executada na presente dissertação teve como base um acompanhamento contínuo, para que se consiga alcançar a perfeição. Deste modo foram identificadas oportunidades para futuras melhorias que a empresa considerou neste momento de difícil implementação, por razões operacionais, logística ou de política interna, pelo que não foi permitida a sua implementação.

O processo deve ser compreendido como um todo e não dividido nas várias actividades. Deste modo, faz sentido a aplicação da filosofia *Lean* a toda a hierarquia da empresa, para que o processo seja observado e analisado como um todo e não dividido por actividades.

Proceder-se à consolidação e implementação da filosofia *Lean* em toda a hierarquia da empresa e implementação da filosofia em todos os fornecedores.

Implementação dos princípios *Lean* nas restantes actividades das obras rodoviárias, nomeadamente outro tipo de pavimentações e outros processos.

Deveria ser elaborado um estudo para compreender o grau de satisfação dos clientes, para se compreender se estes percepcionaram melhorias significativas no valor do produto final.

Realização de estudos sobre: os desperdícios existentes em obras rodoviárias; processos utilizados na realização das actividades; problemas identificados em obras rodoviárias.

Pretende-se que este estudo sirva de base para futuros estudos de implementação da filosofia *Lean* a outro tipo de obras e que incentive as empresas a adoptar estas estratégias para diminuição de desperdícios e consequentemente aumento de rendimento e do lucro financeiro.

9 Bibliografia

ABDELHAMID, T.; SALEM, O. - *A New Paradigm for Managing Construction Projects*. Cairo, Egipto, The International Workshop on Innovations in Materials and Design of Civil Infrastructure, 2005.

ABDULMALEK, F.; RAJGOPAL, J. - *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study*. USA, International Journal of Production Economics , págs. 223-236, 2007.

AECOPS - *Construção: uma visão do futuro*,2007. [http://www.aecops.pt/ Downloads/tabid /107/language/pt-PT/Default.aspx](http://www.aecops.pt/Downloads/tabid/107/language/pt-PT/Default.aspx) (05/10/2010).

ALARCÓN, L.; CALDERÓN, R. - *Implementing Lean Production Strategies in Construction Companies*. Chile, Universidad Católica de Chile,2003.

ALARCÓN, L. F.; DIETHELM, S.; ROJO, O.; CALDERÓN, R. - *Assessing the impacts of implementing lean construction*. Sydney, Austrália, IGLC 13, págs. 26-32, 2008.

BALLARD, G. - *Lookahead planning: The Missing Link in Production Control*. Gold Coast, Australia, IGLC 5, 1997.

BALLARD, G. - *The Last Planner*. USA, Northern California Construction Institute, 1994.

BALLARD, G.; HOWELL, G. - *Implementing lean construction:Understanding and action*. Guaruja, IGLC 6, 1998.

BALLARD, G.; HOWELL, G. - *Towards Construction JIT*. Reino Unido, Association of Researchers in Construction Management, 1995.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. - *Managing the three aspects of production in construction*. Brasil, IGLC 10, 2002.

BRANCO, F.; FERRIERA, P.; SANTOS, L. P. - *Pavimentos Rodoviários*. Lisboa, Almedina, 2008.

CHITLA, V. - *Performance Assessment Of Planning Processes During Manufactured Housing Production Operations Using Lean Production Principles*. USA, Master Thesis. pag. 104, 2002.

CORRÊA, H.; GIANESI, I. - *Just in Time, MRPII e OPT – Um enfoque estratégico*. Brasil, 2ª edição, Atlas, 1993.

DAEYOUNG, K. - *Exploratory study of Lean Construction: Assessment of Lean implementation*. USA, The University of Texas, 2002.

DEFFENSE, J. - *Produção Lean na Indústria de Pré-fabricados de Betão Armado em Portugal*. Lisboa, Dissertação de mestrado, Universidade Nova de Lisboa, 2010.

ESTRADAS DE PORTUGAL, S. - *Caderno de encargos tipo obra*. Portugal, Estradas de Portugal, 2009.

FARRAR, J. M.; ABOURIZK, S. M.; MAO, X. - *Generic Implementation of Lean Concept in Simulation Models*. Canadá, Lean Construction journal , págs. 1-23, 2004.

FONTANINI, P. - *Mentalidade enxuta no fluxo de suprimentos da construção civil – Aplicação de macro mapeamento na cadeia de fornecedores de esquadrias de alumínio*. Brasil, Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

FORMOSO, C. T. - *Evaluation of the impact of the last palnner system on the performance of construction projects*. Taiwan, IGLC 17, 2009.

GARRIDO, J. S.; PASQUIRE, C.; THORPE, T. - *Critical review of the concept of value in lean construction theory*. Israel, IGLC 18, 2010.

GONÇALVES, W. - *Utilização de Técnicas Lean e Just in Time na Gestão de Empreendimentos e Obras*. Lisboa, Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, 2009.

HICKS, B. - *Lean information management: Understanding and eliminating waste*. Reino Unido, International Journal of Information Management, 2007.

HOLWEG, M. - *The genealogy of lean production*. Reino Unido, Journal of Operations Management, págs. 420-437, 2007.

HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. - *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management*. EUA, Irwin/McGraw-Hill, 1996.

HOWELL, G. A. - *What is Lean Construction?* Berkeley, IGLC 7, 1999.

KOSKELA, L. - *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Espoo, VTT Building Technology, 2000.

KOSKELA, L. - *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University. USA, Technical Report, 1992.

KOSKELA, L., BERTELSEN. - *Construction Beyond Lean: A New Understanding of Construction Management*. Dinamarca, IGLC 12, 2004.

KOSONEN, K.; BUHANIST, P. - *Customer focused lean production development*. International Journal of Production Economics, págs 211-216, 1995.

MAROSSZEKY, M.; THOMAS, R.; KARIM, K.; DAVIS, S.; MCGEORGE, D. - *Quality management tools for Lean Production- Moving from enforcement to empowerment*. Brasil, IGLC 10, 2002.

PENEIROL, N. - *Lean Construction em Portugal – Caso de estudo de implementação do sistema de controlo da produção Last Planner*. Portugal, Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, 2007.

PORTUGAL, BANCO - *Relatório anual*. <http://www.bportugal.pt/pt-PT/EstudosEconomicos/Paginas/default.aspx> (24/09/2010), 2009.

ROTHER, M.; SHOOK, J. - *Learning to See – Value stream mapping to create value and eliminate muda*. Massachusetts. USA, The Lean Enterprise Institute, 1998.

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. - *Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction*. Reino Unido, Automation in Construction, págs 641-655, 2010.

SHAH, R.; WARD, P. T. - *Defining and developing measures of lean production*. EUA, Journal of Operations Management, págs 785-805, 2007.

SHUQUAN, L.; KONGGUO, Z. - *Research on Multi-Objective Optimization of Lean Construction Project*. China, International Conference on MultiMedia and Information Technology, 2008.

VIEIRA, C.- *Direcção de obras de estradas contribuição para a melhoria do processo*. Portugal, Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004.

VONDEREMBSE, M. A.; UPPAL, M.; HUANG, S. H.; DISMUKES, J. P. - *Designing supply chains: Towards theory development*. International Journal of Production Economics , 223-238, 2006.

WARNECKE, H., HUSER, M. - *Lean production*. International Journal of Production Economics, págs 37-43, 1995.

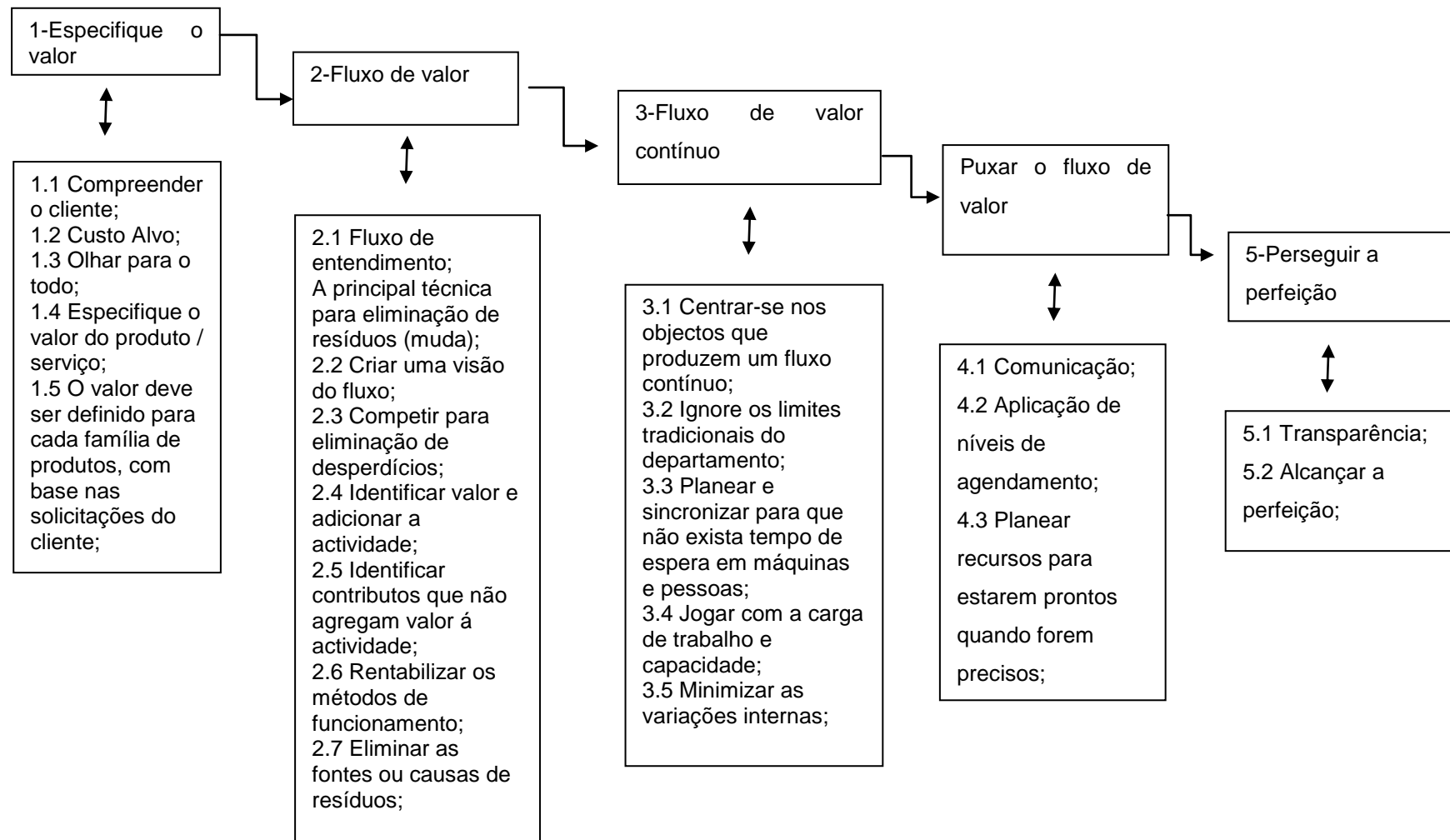
WOMACK J. - <http://www.lean.org/WhatsLean/> [Filme], 2008.

WOMACK, J.; JONES, D. - *The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production*. New York, Rawson Associates, 1990.

WOMACK, J.; JONES, D. - *Lean Thinking*. New York, Simon and Schuster, 2000.

Anexos

I – Modo de aplicação do pensamento Lean



II – Mapeamento de fluxo de valor

Actividade	Mapeamento do estado actual	Tempo antes da implementação	Hipóteses Lean a implementar	Mapeamento do estado futuro	Vantagens da implementação	Tempo depois da implementação
1 Pavimentação com mistura betuminosa a quente (central)	1.1 Encomenda de matéria-prima; 1.2 Entrega de matéria-prima; 1.3 Colocação de matéria-prima no local de utilização; 1.4 Aquecimento da central; 1.5 Transporte com pá carregadora dos inertes para a tremonha; 1.6 Mistura de todos os materiais pela central; 1.7 Ensaio de laboratório à mistura.	1.1 18 Horas /Camião 1.2 5 Min/Camião 1.3 15 Min/m ³ 1.4 48 Horas se parada / 8 horas se temp. 120°C 1.5 1 Min/m ³ 1.6 20Min/20 Ton 30 Min/20 Ton 1.7 5 Min	JIT (Kanban) - Reduzir a quantidade de material existente em stock junto da central; 5S para arrumar os materiais; Kaizen – Controlo rigoroso da qualidade do material produzido;	1.1 Encomenda de matéria-prima; 1.2 Entrega de matéria-prima; 1.3 Depósito de matéria-prima no local de utilização; 1.4 Aquecimento da central; 1.5 Transporte com pá carregadora dos inertes para a tremonha; 1.6 Mistura de todos os materiais pela central; 1.7 Ensaio de laboratório à mistura.	Implementação do JIT para se reduzir a quantidade de material existente em stock junto da central de mistura betuminosa. Utilizar Kanban que serve para simbolizar a necessidade de fornecimento de materiais; 5S para que os materiais estejam arrumados de modo a evitar trabalho desnecessário da pá carregadora Utilização de Kaizen para que exista um controlo muito rigoroso da qualidade do material produzido, para evitar retrabalho;	1.1 18 Horas /Camião 1.2 5 Min/Camião 1.3 15 Min/m ³ 1.4 48 Horas se parada / 8 horas se temp 120°C 1.5 1 Min/m ³ 1.6 20Min/20 Ton (Verão) 30 Min/20 Ton (Inverno) 1.7 5 Min


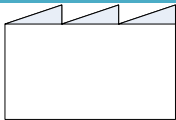

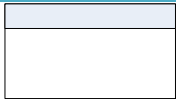


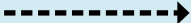



2 Pavimentação com mistura betuminosa a quente (frente de obra) (espessura de pavimentação 0.07m)	2.1 Limpeza da superfície que se vai pavimentar; 2.2 Aquecimento da caldeira de rega; 2.3 Rega de impregnação ou colagem; 2.4 Transporte da mistura betuminosa da central para a frente de trabalho; 2.5 Colocação do camião encostado à frente da pavimentadora; 2.6 Camião descarrega a mistura para a pavimentadora que o coloca no local pretendido; 2.7 Compactação com os cilindros; 2.8 Execução de carotes para ensaio em laboratório;	2.1 5 Min/m ² , 2.2 120 Min/8 Ton, 2.3 2 Min/m ² 2.4 Aproximadamente 8 Min/ camião 2.5 5 Min/ camião 4 eixos 15 Min/ camião 2.6 25 Min / camião 4 eixos 40 Min / camião 2.7 1 Hora/ 170 m ² 2.8 15 Min / carote	Total Productive Maintenance (TPM) para um controlo da manutenção do equipamento; Planeamento da actividade; Interacção entre os vários intervenientes; Controlo da actividade;	2.1 Limpeza da superfície que se vai pavimentar; 2.2 Aquecimento da caldeira de rega; 2.3 Rega de impregnação ou colagem; 2.4 Transporte da mistura da central para a frente de trabalho; 2.5 Colocação do camião encostado à frente da pavimentadora; 2.6 Camião descarrega a mistura para a pavimentadora que o coloca no local pretendido; 2.7 Compactação com os cilindros; 2.8 Execução de carotes para ensaio em laboratório;	Com uma manutenção regular e preventiva diminui-se a probabilidade de ocorrerem problemas com a maquinaria o que originaria paragens na frente de trabalho. A manutenção é um custo para a empresa, mas no caso de não ser realizada e que ocorram avarias a despesa que se vai ter é superior ao custo de manutenção; A actividade de pavimentação, caso seja possível, deve ser planeada para uma altura do ano em que não chova; Interacção entre os vários intervenientes na actividade para que exista fluxo de trabalho; Controlo rigoroso da actividade para que não existam erros;	2.1 4 Min/m ² , 2.2 120 Min/8 Ton, 2.3 2 Min/m ² 2.4 Aproximadamente 8 Min/ camião 2.5 5 Min/ camião 4 eixos 15 Min/ camião 2.6 20 Min / camião 4 eixos 35 Min / camião 2.7 1 Hora/ 180 m ² 2.8 15 Min / carote
---	---	---	--	--	---	---

3 Fresagem	3.1 Marcação no pavimento da espessura a fresar; 3.2 Colocação da fresadora no local e processo de fresagem; 3.3 Limpeza dos fresados;	3.1 2 Min/2m ² 3.2 6 Min/m ² 3.3 10 Min/m ²	Verificação regular da espessura a fresar; TPM para manutenção do equipamento; Making-do para que seja realizada a tarefa com todos os meios necessários;	3.1 Marcação no pavimento da espessura a fresar; 3.2 Colocação da fresadora no local e processo de fresagem; 3.3 Limpeza dos fresados;	No processo de fresagem tem que se ir medindo e verificando constantemente a espessura que se vai a fresar, tentando obter uma melhoria continua para que não se tenha trabalho a fresar a mais do que o necessário; Aplicação de TPM para que a manutenção da fresadora seja executada regularmente pelos trabalhadores, obtendo um correcto funcionamento; Making-do em que uma tarefa apenas tem inicio quando se encontram disponíveis todos os meios necessários, conseguindo deste modo evitar trabalho desnecessário;	3.1 2 Min/2m ² 3.2 5 Min/m ² 3.3 8 Min e 30 seg. /m ²
------------	--	--	---	--	--	--

4 Colocação de lancis	<p>4.1 Marcação do local a encostar o lancil;</p> <p>4.2 Transporte e colocação da argamassa e dos lancis junto da frente de trabalho;</p> <p>4.3 Abertura da vala e execução da fundação;</p> <p>4.4 Colocação na base da argamassa e dos lancis junto do local a colocar;</p> <p>4.5 Assentamento dos lancis nivelados;</p>	<p>4.1 4 Min/m</p> <p>4.2 45 Min/m</p> <p>4.3 25 Min/m</p> <p>4.4 22 Min/m</p> <p>4.5 8 Min/m</p>	<p>Aplicação de 5 S, (principal atenção a Seiton para garantir que os elementos estejam sempre ao alcance dos utilizadores);</p> <p>Planeamento entre os vários intervenientes;</p>	<p>4.1 Marcação do local a encostar o lancil;</p> <p>4.2 Abertura da vala e execução da fundação;</p> <p>4.3 Colocação na base de argamassa e dos lancis junto do local a colocar;</p> <p>4.4 Transporte e colocação da argamassa no fundo da vala e colocação dos lancis junto do local a colocar;</p> <p>4.5 Assentamento dos lancis nivelados;</p>	<p>Aplicação de 5 S, para que os materiais sejam colocados de forma organizada, distribuídos e em locais onde não fiquem a impedir a correcta realização da tarefa (Seiton para garantir que os elementos estejam sempre ao alcance dos utilizadores);</p>	<p>4.1 4 Min/m</p> <p>4.2 25 Min/m</p> <p>4.4 47 Min/m</p> <p>4.5 5 Min/m</p>
5 Construção de valetas	<p>5.1 Escavação do terreno com inclinação pretendida;</p> <p>5.2 Nivelamento da superfície;</p> <p>5.3 Encomenda de argamassa de cimento;</p> <p>5.4 Colocação de argamassa no local pretendido;</p> <p>5.5 Moldagem da argamassa no formato desejado;</p>	<p>5.1 5 Min/m</p> <p>5.2 7 Min/m</p> <p>5.3 60 Min/3m³</p> <p>5.4 12 Min/m</p> <p>5.5 20 Min/m</p>	<p>JIT e kaisen para encomenda do material apenas quando é necessário e melhoria continua do processo;</p>	<p>5.1 Escavação do terreno com inclinação pretendida;</p> <p>5.2 Nivelamento da superfície;</p> <p>5.3 Encomenda de argamassa de cimento;</p> <p>5.4 Colocação de argamassa no local pretendido;</p> <p>5.5 Moldagem da argamassa no formato desejado</p>	<p>JIT e Kaisen, entrega do betão por parte do carro betoneira no momento em que é mesmo necessário, informando o realizador da tarefa a altura em que se pode aplicar continuamente um carro de betão. Consegue garantir-se um maior controlo de toda a actividade, prevenindo problemas futuros que originam trabalho desnecessário;</p>	<p>5.1 5 Min/m</p> <p>5.2 7 Min/m</p> <p>5.3 60 Min/3m³</p> <p>5.4 12 Min/m</p> <p>5.5 20 Min/m</p>

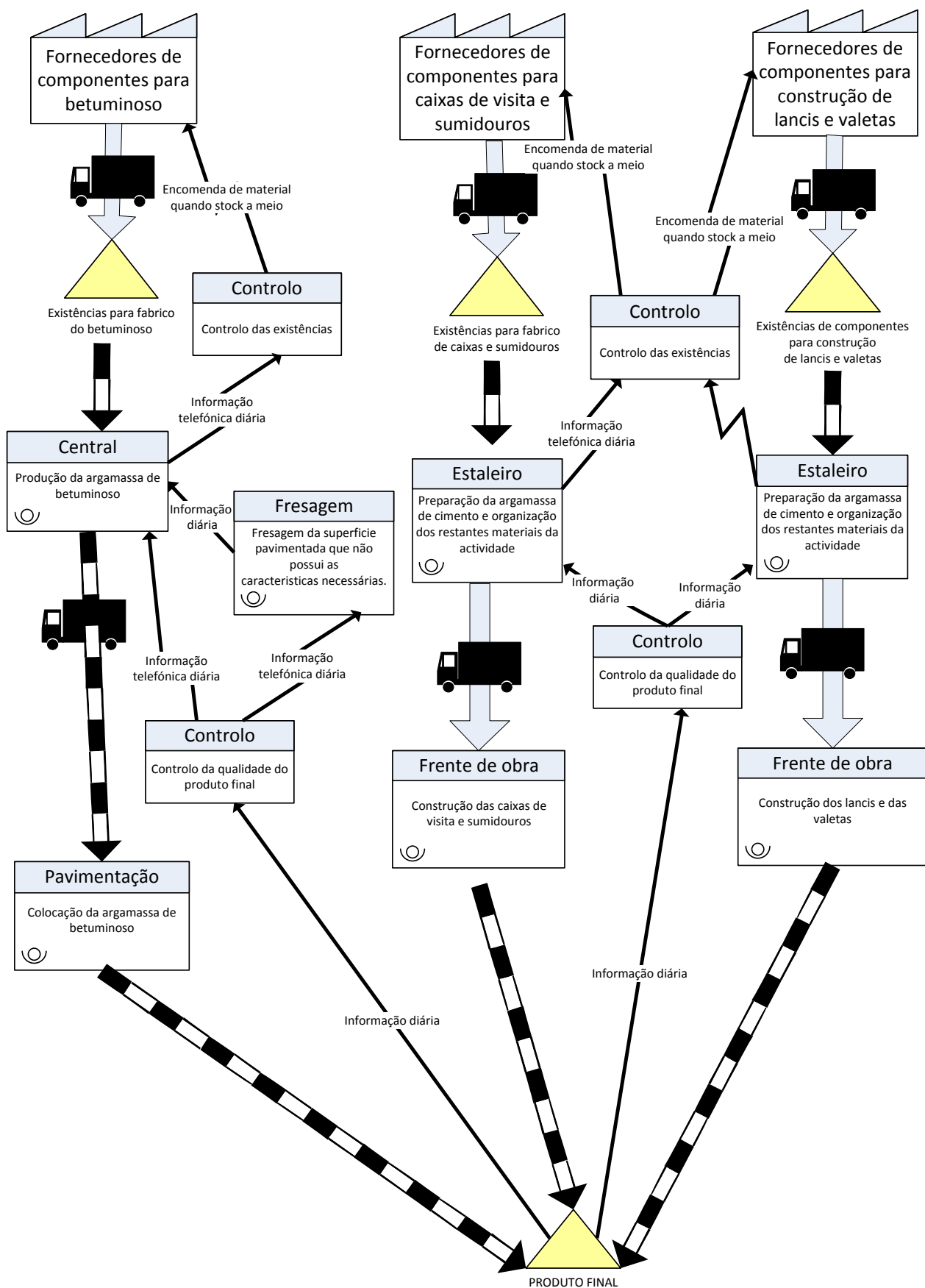
6 Construção das caixas de visita e sumidouros	6.1 Encomenda das estruturas das tampas de visita e sumidouros; 6.2 Entrega no estaleiro das estruturas; 6.3 Colocação de argamassa, tijolos e das estruturas na frente de trabalho; 6.4 Marcação da cota pretendida para a estrutura a colocar; 6.5 Construção do suporte com argamassa e tijolos; 6.6 Colocação da estrutura à cota e inclinação pretendida;	6.1 72Horas/camião peças 6.2 60 Min/camião peças; 6.3 120 Min/peça, 6.4 30 Min/peça, 6.5 150 Min/peça, 6.6 15 Min/peça,	JIT e Kaisen para um acompanhamento rigoroso da actividade; Coordenação com a empresa subcontratada;	6.1 Encomenda das estruturas das tampas de visita e sumidouros; 6.2 Entrega no estaleiro das estruturas; 6.3 Colocação de argamassa, tijolos e das estruturas na frente de trabalho; 6.4 Marcação da cota pretendida para a estrutura a colocar; 6.5 Construção do suporte com argamassa e tijolos; 6.6 Colocação da estrutura à cota e inclinação pretendida;	JIT e Kaisen para um acompanhamento da actividade, conseguindo prevenir erros e consequentemente evitar trabalho desnecessário; Coordenação com a empresa subcontratada para que estejam as duas em coerência relativamente às cotas do terreno e à inclinação do pavimento;	6.1 72Horas/camião de peças; 6.2 60 Min/camião de peças; 6.3 110 Min/peça; 6.4 25 Min/peça; 6.5 140 Min/peça; 6.6 15 Min/peça;

III - Ícones utilizados no mapeamento de fluxo de valor

Ícone	Significado	Nota
	Camião de transporte	Deve ser acompanhado pela frequência e quantidade de material.
	Fontes externas	Utilizado para representar fornecedores.
	Processo de produção	Os processos devem ser identificados.
	Controlo de produção	
	Inventário	Deve ser indicado, quantidade e tempo em stock.
	Movimento em produção “empurrada”	Material produzido na actividade de montante e “empurrado” para a actividade de jusante.
	Movimento em produção “puxada”	Material produzido na actividade a jusante “puxada” da actividade de montante.
	Movimento de carregamentos	Carregamentos vindos de fornecedores, ou entregas a consumidores.
	Fluxo de informação manual	Deve ser indicado o tipo, e frequência.
	Fluxo de informação electrónica	Deve ser indicado o tipo, e frequência. Pode ser via telefone, ou e-mail.

(Deffense, 2010)

IV - Mapeamento do estado actual do processo



V – Mapeamento do estado futuro do processo

